ID: 13488

# ÅTERBRUK AV STÅLKOMPONENTER

*Analys av möjligheter och hinder för en ökad återanvändning idag*

Wylliam Husson och Ove Lagerqvist

2018-11-16

# Förord

Förstudien ”Återbruk av stålkomponenter” genomfördes under året 2018 tack vare finansiering av SBUF via Skanska Sverige AB och Nordcert via MVR.

Arbetsgruppen bestod av Wylliam Husson och Ove Lagerqvist, ProDevelopment AB.

För sitt deltagande i referensgruppen och värdefulla diskussioner vill vi tacka:

Sara Elfving, Boverket

Erik Forsberg, SBI

Joakim Jeppsson, Skanska

Dan Jonsson, Northpower

Felix Lindberg, Lindberg & Son AB

Roger Persson, NCC

Björn Uppfeldt, MVR

Douglas Wallding, Nordcert

Björn Åstedt, SBI

Luleå och Söderhamn,

November 2018

# Sammanfattning

Stål kan återvinnas gång på gång med samma kvalitet. Men stålkomponenter kan även återanvändas, vilket ger ännu större miljöfördelar. Varför förblir återbruk en ovanlig praxis när bättre miljöegenskaper efterfrågas?

Syftet med denna förstudie var att utreda vilka tekniska möjligheter som finns tillgängliga för att bedöma stålkomponenters egenskaper och belysa potentiella hinder och möjliga tolkningar av regelverket.

Först genomfördes en litteraturstudie som tydliggör fördelar och svårigheter med återanvändning. Fallstudier illustrerar olika typer av återbruksprojekt och visar på olika strategier.

Efter en gedigen analys av gällande och kommande regelverk för dimensionering och utförande av stålkonstruktioner är vår bedömning att det inte finns formella juridiska hinder för återbruk av stålkomponenter. Icke standardiserade stålsorter får användas så länge deras materialegenskaper är kända, uppfyller grundläggande krav och dokumenteras på ett tillförlitligt sätt.

Vid materialbestämning kan oförstörande provningsmetoder inte ersätta förstörande provning i alla lägen, men kan med fördel ingå i anpassade provningsprocedurer där antalet tidskrävande och kostsamma förstörande provningar begränsas.

Två typer av oförstörande provningsmetoder har undersökts: hårdhetsmätning för brottgränsen och portabla spektrometer (OES och XRF) för analys av kemisk sammansättning.

Hårdhetsmätning är mycket enkel och ger konsekventa resultat med liten spridning. Metoden kan användas för att snabbt dela in produkter i homogena materialgrupper.

Analys av kemisk sammansättning med XRF-instrument kan användas vid grov sortering eller analys av färger.

OES-instrument kan analysera alla grundämnen som ingår vid beräkning av kolekvivalenten. Metoden tillåts som ”routine method” vid tillverkning och erbjuder snabba och tillförlitliga svar.

Vid återanvändning av EN-stål där dokumentation är tillgänglig räcker oförstörande provningar för att bekräfta överensstämmelse med produktstandarden.

För äldre stål eller där dokumentation saknas kan oförstörande provning användas för att dela in produkter i företrädesvis stora materialgrupper. Kemisk analys kan utföras i fält med OES och mekaniska egenskaper bestäms slutligen genom förstörande provning.

Provningsprocedurer har föreslagits, men fler undersökningar och ett större statistiskt underlag krävs för att bl a bestämma provningsomfattningar.

Återbruk kan organiseras på många olika sätt. Tre återbruksmodeller föreslås som kan ligga till grund för nya affärsmodeller. Generellt behöver miljöincitament förstärkas och demontering uppmuntras framför rivning.

Fortsatt arbete för ökat återbruk bör inkludera vidareutveckling av provningsprocedurer med definierade acceptanskriterier och provningsomfattningar, utveckling av en prospekteringsmetodik som kan bidra till en ökande tillgång av återanvända produkter och utveckling av metoder som gör det möjligt att tillgodoräkna sig miljöfördelarna av att utnyttja återanvända produkter..

# Innehållsförteckning

**Förord** ..... **1**

**Sammanfattning** ..... **2**

**Innehållsförteckning** ..... **3**

**1 Inledning** ..... **5**

**2 Bakgrund** ..... **6**

*2.1 Konstruktionsstål och cirkulärekonomi* ..... *6*
2.1.1 Vad är cirkulär ekonomi? ..... 6
2.1.2 Varför återanvända stål? ..... 7

*2.2 Aktuell status för återbruk av stål* ..... *11*

*2.3 Framtidens återbruk* ..... *12*

*2.4 Återbuk idag - Fallstudier* ..... *12*

*2.5 Aktuella hinder och strategier för ökat återbruk* ..... *16*

**3 Att bygga med nytt stål** ..... **22**

*3.1 Dagens Stålbyggande* ..... *22*
3.1.1 Byggprocessen ..... 22
3.1.2 Föreskrifter och kontroller ..... 23

*3.2 Regelverk* ..... *24*
3.2.1 Allmänt ..... 24
3.2.2 SS-EN 1993 – Eurokod 3 ..... 25
3.2.3 Boverkets EKS ..... 29
3.2.4 SS-EN 1090-1 ..... 32
3.2.5 SS-EN 1090-2 ..... 34

*3.3 Tidigare standarder och praxis* ..... *36*
3.3.1 Tidigare standarder för stålkonstruktioner ..... 36
3.3.2 Äldre standarder för konstruktionsstål ..... 40
3.3.3 Jämförelse ..... 44

**4 Att återanvända stål** ..... **51**

*4.1 Regelverk* ..... *51*
4.1.1 Dimensionering ..... 51
4.1.2 Utförande och kontroll ..... 51

*4.2 Incitament* ..... *52*
4.2.1 Ekonomi ..... 52
4.2.2 Miljö ..... 52
4.2.3 Undersökning inför rivning (*Pre-demolition audit*) ..... 53

*4.3 Återbruksmodeller* ..... *53*
4.3.1 Bygga nytt utifrån gammal byggnad ..... 54
4.3.2 Bygga nytt med återanvända komponenter ..... 55
4.3.3 Integrerat återbruk ..... 57

**5 Materialbestämning** ..... **60**

*5.1 Allmänt ... 60*

*5.2 Mekaniska egenskaper ... 60*
5.2.1 Allmänt ... 60
5.2.2 Oförstörande provning ... 62

*5.3 Kemisk sammansättning ... 65*
5.3.1 Oförstörande provning ... 67

*5.4 Dimensioner och toleranser ... 74*

*5.5 Ytbeläggning ... 75*

*5.6 Provningsprocedurer ... 75*
5.6.1 Nedgradering ... 75
5.6.2 Dimensionering genom provning ... 76
5.6.3 Norska förslag ... 77
5.6.4 Diskussion och förslag på provningsprocedur ... 79

**6 Slutsatser ... 82**

*6.1 Inga formella hinder ... 82*

*6.2 Provningsprocedurer kan optimeras med oförstörande provningsmetoder ... 82*

*6.3 Miljöincitament behöver förstärkas ... 83*

*6.4 Demontering behöver uppmuntras ... 83*

*6.5 Fortsatt arbete ... 83*

**Bilaga A Fallstudier ... 85**

**Bilaga B Miljöcertifieringssystem ... 95**

**Bilaga C Kontrollintyg ... 99**

**Litteraturförteckning ... 103**

# 1 Inledning

Den 2 december 2015 antog EU-kommissionen ett ambitiöst åtgärdspaket för den cirkulära ekonomin som inspireras av naturens slutna kretslopp, dvs där en hög grad av återanvändning och återvinning eftersträvas.

Stål är det konstruktionsmaterial som har de bästa förutsättningarna eftersom det kan återvinnas gång på gång med samma kvalitet. Miljönytta och kanske även ekonomiska vinster kan dock bli ännu större genom att återanvända stålkomponenter utan att behöva smälta dem och tillverka nya.

Idag återvinns nästan allt stål, men av detta stål är det bara ca 10 % som återanvänds. Det pågår dock arbete för att underlätta återanvändning av nya byggnader genom konstruktiva åtgärder samt utökad dokumentation och lagring av byggnaders och komponenters egenskaper.

Dessa åtgärder är viktiga långsiktiga investeringar. Men när det gäller stålkomponenter i befintliga byggnader återstår både tekniska och juridiska hinder för ett mer utbrett återbruk redan idag.

Syftet med denna förstudie var att utreda vilka tekniska möjligheter som finns tillgängliga för att bedöma stålkomponenters egenskaper och belysa potentiella hinder och möjliga tolkningar av regelverket.

Först presenteras bakgrundsinformation om återbruk av stålkonstruktioner som inhämtat genom en litteraturstudie. Fördelar och svårigheter med återanvändning diskuteras. Även ekonomiska aspekter tas upp. Fallstudier illustrerar olika typer av återbruksprojekt och visar på olika strategier. Även analyser av aktuella hinder ifrån flera länder diskuteras.

För att kunna föreslå effektiva åtgärder för ökat återbruk utöver tekniska lösningar för provning var det viktigt att förstå hur stålbyggandet organiseras idag. I Kapitel 3 beskrivs byggprocessen och det omfattande regelverket. Då återbruk innebär hantering av äldre material, har även äldre standarder studerats och jämförts.

I kapitel 4 presenteras lösningar för återbruk. Först analyseras hur regelverket kan tolkas när återanvända produkter ingår i byggprocessen. Sedan diskuteras hur incitament till ökat återbruk kan förstärkas och sist beskrivs tre återbruksmodeller som kan ligga till grund för nya affärsmodeller.

Tekniska aspekter av materialbestämning avhandlas i kapitel 5. De egenskaper som behöver bestämmas definieras och alternativa oförstörande provningsmetoder presenteras: hårdhetsmätning för brottgränsen och spektrometri (OES och XRF) för analys av kemisk sammansättning. Möjligheter och begränsningar med dessa metoder har undersökts genom praktiska försök på tre kända stålprofiler. Till slut föreslås provningsprocedurer som knyter an till återbruksmodeller i kapitel 4

Slutsatser och förslag på fortsatt arbete anges i kapitel 6.

# 2 Bakgrund

## 2.1 Konstruktionsstål och cirkulärekonomi

### 2.1.1 Vad är cirkulär ekonomi?

Cirkulär ekonomi är en ekonomisk modell som inspireras av naturens kretslopp. Istället för öppna processer som kräver nytt råmaterial och producerar avfall föredras slutna processer där uttjänta produkter blir till resurser.

Principen illustreras väl av figuren nedan som visar en hierarki av metod (kallad "*the 6 Rs*" på engelska) för att minska mängden avfall. Återbruk och annan användning betraktas i detta sammanhang som ett bättre alternativ än återvinning.

*Figur 2.1 Avfallshierarki*

British Standards (BSI) har utvecklat världens första standardramverk för implementering av cirkulär ekonomi, BS 8001:2007 (1) där sex principer presenteras, se figur 2.2. I denna rapport fokuseras på principerna nummer 5 och 6, dvs hur värdet hos stålkomponenter kan tillvaratas genom återanvändning och vilka är de hindren och fördelar.

*Figur 2.2 Principer för cirkulär ekonomi enligt BS 8001:2017.*

### 2.1.2 Varför återanvända stål?

Materialet stål kan lätt återvinnas genom smältning utan försämring av egenskaperna. Men även egenskaper hos stålprodukter i en uttjänt konstruktion är normalt oförändrade om de inte utsatts för:

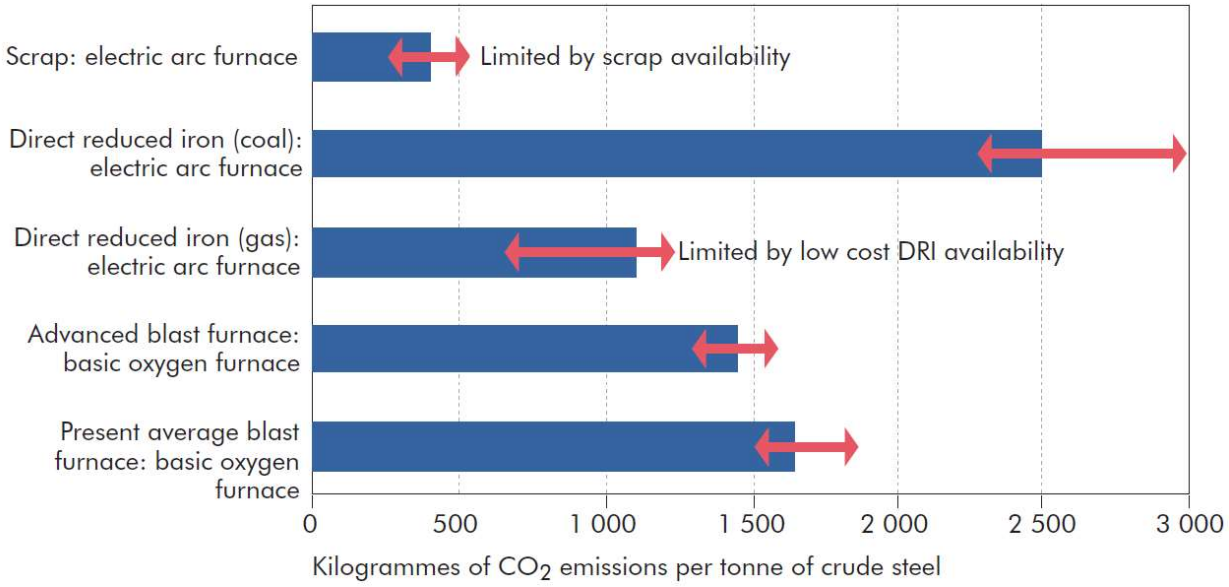
- brand;
- korrosionsangrepp, eller;
- utmattning.

Det är sällan bärande konstruktioner utsätts för brand eller korrosion som dessutom lämnar tydliga spår lätta att upptäcka genom visuell kontroll. Materialets tillstånd med hänsyn till utmattning är mycket svårare att bedöma men endast få konstruktioner drabbas: industribyggnader med framförallt traverser och broar. Övriga konstruktioner är fullt funktionella när de rivs och enligt principerna för cirkulär ekonomi borde återbruk föredras framför återvinning.

I detta kapitel redovisas fördelar och potential för återbruk av stålkomponenter.

**Miljönytta**

Stålproduktion kräver stora mängder energi och ansvarar för betydande koldioxidutsläpp. Siffrorna varierar mellan 1000 och 3000 kg $CO_2$/t beroende på vilken teknologi som används vid framställning av råstål och hur elenergi produceras, se figur nedan. Ett genomsnittligt värde för primär produktion av råstål kan antas vara 1 900-2 100 kg $CO_2$/t (2).




*Note:* The high and low-end ranges indicate $CO_2$-free and coal-based electricity, and account for country average differences based on IEA statistics. The range is even wider for plant-based data. The product is crude steel, which excludes rolling and finishing.

*Source:* IEA, 2007b.

*Figur 2.3 Koldioxidutsläpp vid tillverkning av råstål, från (3)*

Å andra sidan skiljer sig stål från andra konstruktionsmaterial genom att det kan återvinnas på ett enkelt sätt utan att förlora sitt värde. En stålbalk kan bli till en ny balk med lika eller till och med större hållfasthet.

Sekundär produktion ger upphov till 470-570 kg $CO_2$/t vid 40-44 % skrothalt (2) vilket är ungefär en fjärdedel av utsläppen vid primär produktion.

Men råstål behöver vidareförädlas till användbara konstruktionsprodukter vilket innebär ytterligare energibehov och koldioxidutsläpp. I tabellen nedan redovisas uppskattade koldioxidutsläpp för vanliga

tillverkningsprocesser. Värden kommer från EUs *Integrated Pollution Prevention and Control Directive* och en studie av *Canadian Steel Producers Association* från 2007, och sammanställdes i (4).

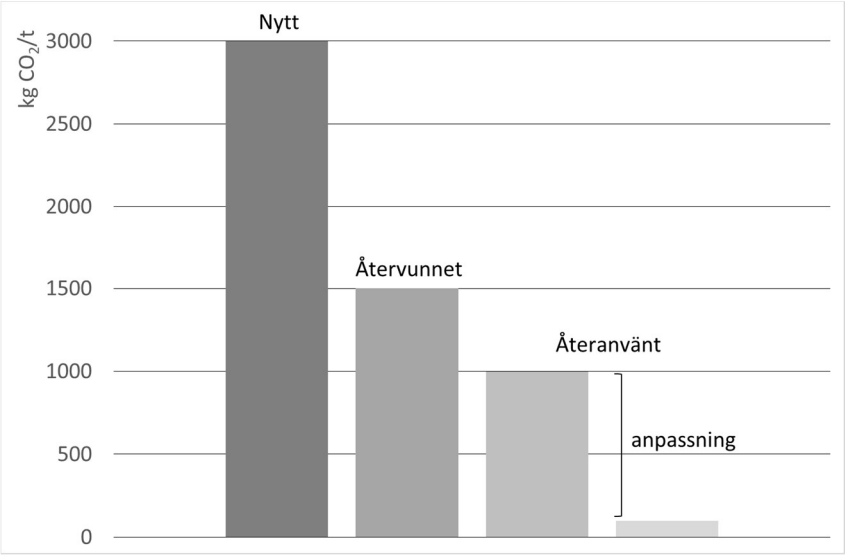
*Tabell 2.1 Uppskattade koldioxidutsläpp för olika tillverkningsprocesser, från (4)*

| Process | Emissions ($t\ CO_2/t$) |
|---|---|
| Iron making—blast furnace | 0.5 |
| Coking | 0.2 |
| Sintering | 0.4 |
| Direct-reduction | 1.2 |
| Steelmaking—oxygen blown furnace | 0.2 |
| Steelmaking—electric arc furnace | 0.5 |
| Scrap preparation | 0.01 |
| Steelmaking—open hearth furnace | 1 |
| Continuous casting | 0.01 |
| Ingot casting | 0.05 |
| Hot strip mill | 0.1 |
| Cold strip mill | 0.4 |
| Plate mill | 0.1 |
| Rod and bar mill | 0.2 |
| Section mill | 0.2 |
| Galvanising plant | 0.2 |
| Tinning mill | 0.04 |
| Extrusion | 0.2 |
| Primary mill | 0.1 |
| Forming | 0.1 |
| Steel product casting | 2.4 |
| Iron foundry casting | 1.7 |
| Fabrication | 1 |

Det framgår att de samlade utsläppen för tillverkning av en färdig produkt från råmaterial är ca 3 000 kg $CO_2$/t (4). När råmaterialet ersätts av återvunnet stål (skrot) kan de totala utsläppen halveras.

Ännu större besparingar kan uppnås om stålprodukter återanvänds utan att behöva smältas. Enligt vissa källor är varsam demontering mer energikrävande och leder till större utsläpp av växthusgaser än vanligare mekanisk rivning och återvinning men besparingarna är ändå tydliga. Fujita och Iwata (5) uppskattar utsläppen från demontering till 100 kg$CO_2$/t att jämföra med ca 500 kg$CO_2$/t för återvunnet stål.

När utsläppen från tillverkning av standardprodukter minskar ökar betydelsen av bearbetning och anpassning till specifika applikationer. Enligt tabell 2.1 kan dessa utsläpp uppskattas till 1 000 kg $CO_2$/t. Miljövinsten är därmed störst om produkterna återanvänds med minst möjliga anpassning. Detta illustreras i figur 2.4 som visar storleksordningen på koldioxidutsläppen för nytt, återvunnet och återanvänt stål med och utan anpassningsbehov. Notera att värdena är uppskattningar och att stora variationer kan uppstå från fall till fall.

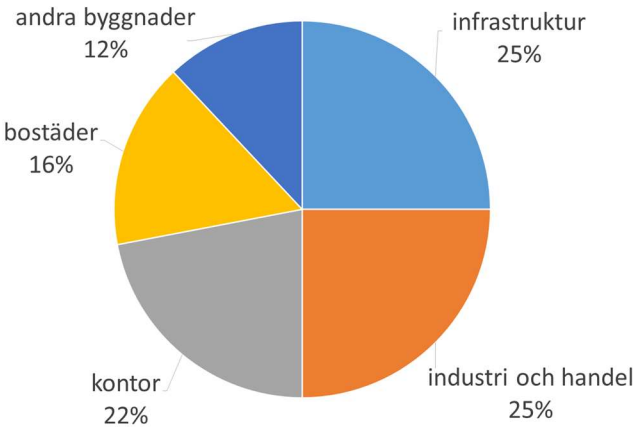



*Figur 2.4 Jämförelse av utsläpp från återvunna och återanvända stålprodukter.*

**Tillgång**

Mer än hälften av allt stål som produceras i världen (56%) används inom byggsektorn. Av detta är nästan hälften i form av armering till betongkonstruktioner. Valsade profiler och plåt utgör ca en fjärdedel var och resten består av rör och räls (4).

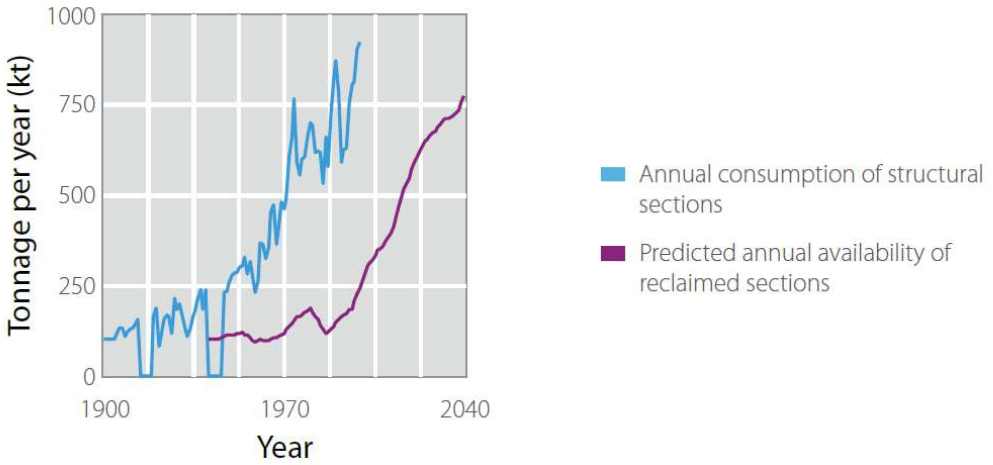
Vidare kan användning av stål inom byggsektorn delas in i kategorier enligt figur 2.5




*Figur 2.5 Användningsområde för stål inom byggsektorn, enligt (4)*

Efterfrågan på stål varierar mellan länder och beror på ekonomins utvecklingsstadium. I Europa har efterfrågan stabiliserats och nya produkter används som ersättning till den stora mängden stål som redan finns bunden i byggnader och infrastruktur. Tillgångar på stål varierar mycket mellan utvecklade länder pga olika byggkulturer och förutsättningar, från 3 t/invånare i Frankrike till 13 t/invånare i Japan. I Storbritannien är denna siffra ca 5 t/invånare (4) och troligen ligger värdena för Sverige nära detta, om inte högre, på grund av landets geografi och demografi (avlångt land med väl utvecklad infrastruktur och relativt få invånare), och en stark stålbyggnadskultur.

Prognoser visar på en ökande mängd återanvändbara stålprodukter i takt med att en åldrande byggnadspark ersätts av nyare konstruktioner. Figur 2.6 visar prognoser över tillgänglighet av gamla stålprofiler i Storbritannien (4). Samma trend förutsätts i Sverige som har följt i stort sett samma utveckling som Storbritannien.




*Figur 2.6 Prognos över tillgänglighet av gamla stålprofiler i Storbritannien, från (4)*

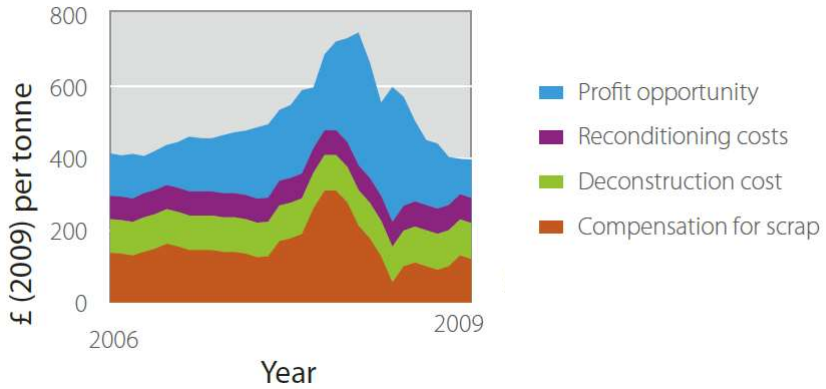
**Ekonomi**

Den gråa energin som är bunden i en stålbalk är större än den i samma mängd stålskrot, vilket gör balken mer värd än skrothögen i ett miljöperspektiv. Det samma gäller även ekonomiskt.

En färdig konstruktionsprodukt i nytt varmvalsat konstruktionsstål kostar ca 20 kr/kg (7 till 10 kr/kg i obearbetad form). Efter rivning säljs denna produkt som skrot. Skrotpriser sätts på en internationell marknad och varierar mycket men en rimlig uppskattning ligger runt 1 kr/kg för vanligt järnskrot.

Skillnaden är mycket stor och ger utrymme för extra kostnader som uppstår vid återanvändning så som en svårare och mer tidskrävande demontering, lagring, provning eller rekonditionering.

Vidare korrelerar skrotprisutvecklingen med efterfrågan och pris på nytt stål så att vinstmöjligheten behålls över tid till skillnad från återvinningsindustrin som drabbas hårt av flyktiga priser. Detta illustreras i figur 2.7.

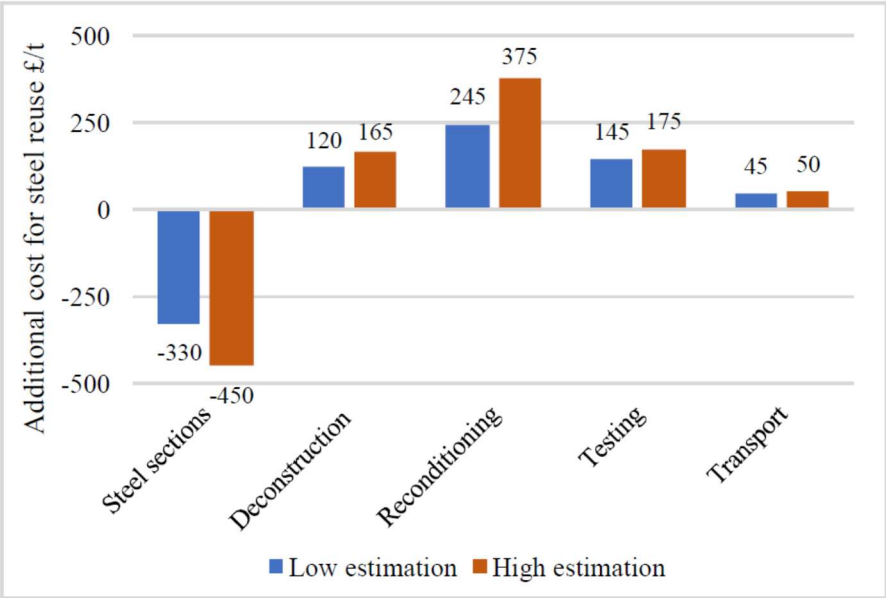



*Figur 2.7 Vinstmöjlighet från återanvändning av konstruktionsstål, från (4)*

Fujita och Iwata antar att återanvänt stål kan säljas till ett pris motsvarande 3,5 gånger skrotpriset vilket täcker de extra kostnaderna för varsam demontering och samtidigt leder till lägre byggkostnader (5). Med hjälp av simuleringar uppskattas besparingar upp till 40% om produkterna kan återanvändas utan rekonditionering. Om de behöver bearbetas är kostnaderna ca 15% mindre än med nya produkter. Återanvändning av stålkonstruktioner kan då bli ekonomisk men för att säkerställa kontinuitet och lönsamhet krävs en god tillgång till återanvändbara produkter.

Allwood et al. (6) är mer försiktiga. De uppskattar kostnader för demontering till 100 £/t (ca 1 200 kr/t) och rekonditionering till 70 £/t (ca 850 kr/t) vilket ger en vinstmöjlighet på 190 £/t (ca 2 300 kr/t). Provningskostnader uppskattas till 100 £ per certifikat vilket leder till slutsatsen att nedgradering till lägsta hållfasthetsklass är det enda ekonomiska alternativet i dagsläget.

Samma forskargrupp från Cambridge (7) använder andra siffror inklusive kostnader för provning, se figur 2.8, och drar slutsatsen att återanvänt stål är dyrare.




*Figur 2.8 Prisskillnader mellan återanvänt och nytt stål, från (7).*

Slutligen gör Dunant et al. (8), också från Cambridge, en gedigen analys av kostnadsbilden baserat på intervjuer i Storbritannien. De uppskattar bla att den genomsnittliga produkten väger 340 kg och fabrikation baserat på återanvända komponenter är 50 % dyrare. Återanvänt stål blir något dyrare än nytt och tillsammans med ett behov av längre lagringstider utgör det ett hinder för återbruk. Genom att utnyttja prisvariationer över tid kan dock vinstmöjligheter uppstå för specialiserade leverantörer som erbjuder anskaffning, rekonditionering och lagerhållning av återanvända produkter.

Kostnadsuppskattningar varierar mycket och leder till motstridiga slutsatser. Förutsättningarna skulle dock förändras radikalt vid en större marknad med specialiserade aktörer.

Demontering, rekonditionering och provning som bidrar till kostnaderna för återanvänt stål är dessutom arbetsintensiva operationer som bidrar till flera lokala jobb och en positiv samhällsutveckling (4) (9). I en studie från USA (10) uppskattas att återanvändning skapar 9 gånger fler jobb än återvinning.

Eftersom konstruktionsstål endast utgör ca 10 % av allt stålskrot varav hälften består av armeringsjärn är återbruk inget hot mot den etablerade återvinningsindustrin.

## 2.2 Aktuell status för återbruk av stål

I Finland källsorteras 75 % av stålet och 91 % återvinns medan uppskattningsvis 5 % återanvänds. Ett liknande mönster finns i hela världen: trots goda förutsättningar är återanvändning av stål marginell.

En studie från Storbritannien (11) visar till och med på en minskning av återanvändning av stål inom byggbranschen mellan 1998 och 2007.

*Tabell 2.2 Grad av återanvändning, återvinning och deponering (12)*

| Year | Author | Reuse | Recycle | Landfill | Note |
|---|---|---|---|---|---|
| 2001 | Steel Construction Institute | 12% | 93% | 5% | Heavy sections |
| 2006 | Gorgolewski *et al.* | 10% | 90% | nil | Sections, Canada |
| 2012 | EUROFER | 7% | 96% | 2% | Heavy sections |

I följande kapitel redovisas först framtidsstrategier som kan främja återanvändning från början. Sedan presenteras fallstudier som visar på möjligheter i dagsläget och sist diskuteras hinder till mer utbrett återbruk.

## 2.3 Framtidens återbruk

Pågående forskning med mål att förbättra förutsättningar till återbruk av konstruktionsstål har två huvudområden:

1. Hur kan implementering av nya digitala teknologier förbättra hantering och överföring av viktig information som behövs vid återbruk av konstruktionsprodukter?
2. Hur ska konstruktioner och i synnerhet infästningar utformas för att underlätta demontering och återanvändning?

”BAMB 2020: Buildings as Material Banks” är ett pågående europeiskt projekt vars syfte är att möjliggöra ett systemskifte i byggsektorn genom att skapa cirkulära lösningar (www.bamb2020.eu). Fokus ligger bland annat på utvecklingen av s k materialpass (*material passports*) som innehåller viktig information om produkterna som ingår i en byggnad. På så sätt blir värdet hos en komponent tydligare och bättre beslut kan tas i riktning mot en cirkulär ekonomi, både vid utformning av nya och hantering av uttjänade konstruktioner.

Liknande koncept har studerats av andra som ser en möjlighet i användning av *Building Information Modells* (BIM) kombinerad med *radio-frequency identification* (RFID) (13) (9). Numeriska modeller ger snabbt tillgång till viktig information och underlättar kommunikation mellan olika aktörer i värdekedjan, från utformning till demontering och återanvändning. Med hjälp av RFID kan informationen dessutom lagras och även uppdateras i produkterna själva vilket säkerställer spårbarheten. Dessa teknologier är relativt nya och det behövs tydliga standarder och arbetssätt för att säkerställa deras lämplighet över längre tidsperioder.

I BAMB projektet ingår också utveckling av *reversible design building* där ett *Design Protocol for dynamic and circular buildings* fungerar som stöd vid utformning av mer anpassbara byggnader. Dessa är övergripande materialoberoende lösningar.

Ett antal nya standarder som behandlar design för demontering (design for deconstruction, DfD) är under utveckling. I Kanada publicerades CSA-Z782 redan 2006. DGNB i Tyskland och BRE i Storbritannien har också utarbetat egna metoder. En international standard, ISO 20887, förbereds av ISO/TC 59/SC 17 och ska publiceras inom kort. Den svenska ”speglingsgruppen” för denna standard är TK 209 Hållbara byggnadsverk.

Merparten av stålkonstruktioner byggs redan idag med standardiserade komponenter som lämpar sig väl till återanvändning. Den aspekt som dock kan vidareutvecklas är infästningar mellan dessa komponenter och infästningar i samverkande konstruktioner mellan stål och betong.

Skruvförband används redan i stor utsträckning och ska föredras framför svetsade förband men ännu bättre lösningar kan användas för att förenkla demontering och främja återanvändning (14).

Svetsade skjuvförbindare i samverkande balkar och bjälklag kan ersättas av demonterbara alternativ vars kapacitet är under utredning (15) (16).

## 2.4 Återbuk idag - Fallstudier

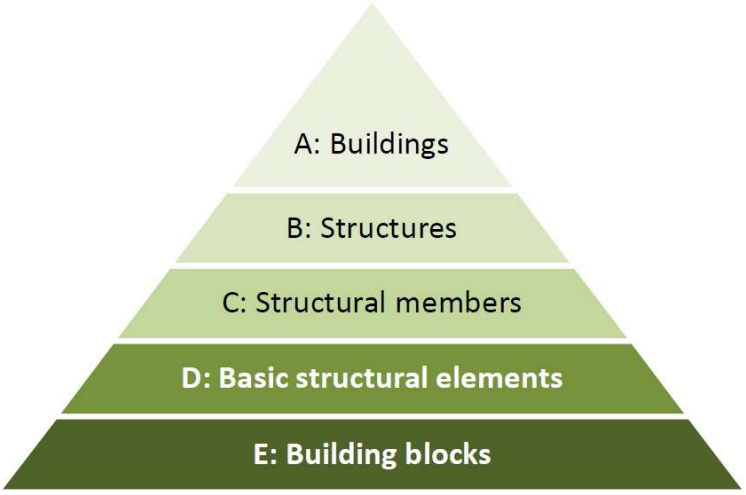
Andelen återanvänt stål i konstruktionssektorn är ganska blygsam men en del fallstudier av olika typer av lyckade återanvändningsprojekt har publicerats. Genom att studera dessa kan man definiera olika strategier och identifiera viktiga faktorer som möjliggör återanvändning.

Återanvändning av konstruktionsstål kan ske på olika nivåer, från komplexa byggnader via stommar och sammansatta komponenter till enkla enstaka komponenter. Ju mer komplex en komponent är desto större är dess värde. Fördelarna med återanvändning (miljöpåverkan och ekonomi) är därmed

också större. Däremot brukar användningsområdet för mer komplexa komponenter vara mer begränsad vilket begränsar sannolikheten eller möjligheten för återanvändning. Förhållandena är omvända när det kommer till enklare komponenter som har ett lägre värde men är mer mångsidiga och tillgängliga i större antal.

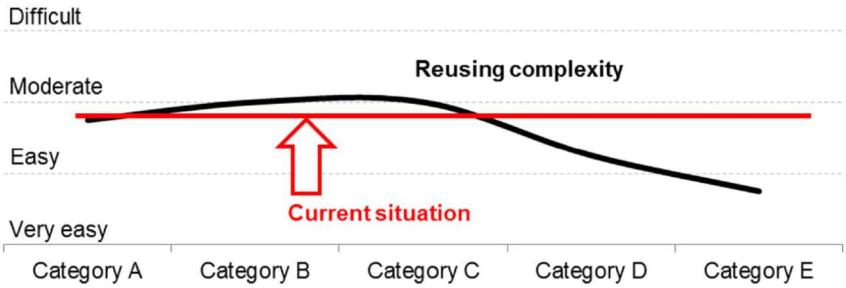
Hradil (17) definierar 5 komplexitetsnivåer:

A. Byggnader (*buildings*), t ex hel stomme eller bro
B. Bärande konstruktioner (*Structures*), t ex takstol eller ram
C. Sammansatta komponenter (*Structural members*), t ex sandwichelement eller svetsade balkar
D. Standardkomponenter (*Basic structural elements*), t ex valsade profiler
E. Enklare komponenter (*Building blocks*), t ex plåt eller stång




*Figur 2.9 Olika komplexitetsnivåer av återanvändbara produkter enligt (17).*

Vidare beskrivs olika arbetsmoment relaterade till återanvändning och deras svårighetsgrad uppskattas. Båda aspekter kombineras till ett enda mått på komplexitet (se figur 2.10). Slutsatsen blir att mindre komplexa komponenter är enklare att återanvända. Å andra sidan återanvänds också hela byggnader och tröskeln till att börja återanvända större delar av en konstruktion anses vara låg. Detta återspeglas dock inte i publicerade fallstudier där återanvändning av hela byggnader är överrepresenterad.




*Figur 2.10 Genomsnittlig svårighetsgrad för återanvändning av olika produkter enligt (17).*

Andra aspekter som påverkar strategin för återanvändning är var en konstruktion eller komponent återanvänds (på plats eller på annan ort), av vem (från en enda aktör till oberoende parter med eventuell mellanhand) och när (direkt efter demontering eller senare).

Dessa aspekter är inte helt oberoende av varandra, oftast sker återanvändning på plats genom färre aktörer, direkt efter eller parallellt med demontering. Å andra sidan återanvänds enstaka

komponenter oftast på annan ort av oberoende aktörer via en mellanhand, möjligen efter en viss lagringstid.

Tabellen nedan listar exempel från färska fallstudier efter komplexitet hos de återanvända komponenterna och platsen där återanvändning sker. Listan är varken uttömmande eller statistiskt representativ för olika återanvändningsstrategier.

I fallen högst upp till vänster (hel byggnad byggs om på plats) behålls största möjliga värdet vilket kan anses som det bästa alternativet enligt principerna för cirkulär ekonomi. Ju längre ner och till höger man kommer desto mindre blir fördelarna, men marknaden kan samtidigt bli större genom färre begränsningar. Återvinning kan ses som det yttersta fallet där materialet i sig, utan specifik form återanvänds.

*Tabell 2.3 Fallstudier sorterade efter komplexitetsgrad och återanvändningsplats*

| Typ av komponent | Återanvändning | |
|---|---|---|
| | på plats | På annan ort |
| Hel byggnad | Carrwood Park, UK (7)<br>Blue Steel Building, UK (7) (18)<br>Sainsburry Mezzanine, UK (7)<br>PUT laboratory, Romania (18)<br>Kv Nattugglan 14, Stockholm (19) | Honda Central, Swindon (7)<br>SEGRO warehouse, UK (18)<br>Agrocolumna warehouse, Romania (18)<br>Metis canopy, Croatia (18)<br>Bus station Schiphol-Nord, Netherlands (18)<br>BRE test facility, Cardington, UK (18)<br>S-market, Urjala, Finland (18) |
| Bärande konstruktion (stomme) | Parkwood residences, Kanada (20) (21)<br>Angus Technopôle, Kanada (21)<br>BMW Sales and Service Center, Kanada (21)<br>HIDROTIM offices, Romania (18)<br>RWTH seminar building, Germany (18) | Roy Stibbs Elementary School, Kanada (21) (20)<br>NTS building, Thirsk, UK (18)<br>Kingsize academy, Bradford, UK (18)<br>Tågstation i Genoa, Italien (22) |
| Sammansatta komponenter | 740 rue Bel-Air, Kanada (21) | Big Dig House, USA (20)<br>University of Toronto Scarborough Campus Student Centre, Kanada (21) |
| Enstaka standardkomponenter | Mountain Equipment Co-op, Kanada (21)<br>BedZED, UK (21) | La Cuisine, Winnipeg Folk Festival, Kanada (20)<br>740 rue Bel-Air, Kanada (21) |
| *Råmaterial* | *Återvinning* | |

Ett annat sätt att sortera återanvändningsprojekt är efter vilka incitament som ledde till val av återanvänt stål framför nya produkter och de tre huvudorsakerna är:

1. Ekonomi;
2. Miljöengagemang, och
3. Estetik.

Återanvändning föredras så klart när det är ekonomiskt fördelaktigt vilket framförallt blir fallet när en befintlig byggnad kan anpassas till en ny användning.

Miljöengagemang nämns som ett starkt incitament för många av Gorgolewskis fallstudier när mindre element har återanvänts (Mountain Equipment Co-op, La Cuisine, BedZED). Olika system för miljöcertifiering kan spela en roll i detta sammanhang, se Bilaga B.

Estetiska och kulturhistoriska skäl nämns också som grund för återanvändning av äldre byggnader, ofta industrilokaler med vackra nitade konstruktioner, tex Angus Technopôle i Montreal eller gamla ångkraftverket i Västerås. Mycket speciella konstruktioner verkar också ha ett särskilt värde, se exemplen nedan.

*Figur 2.11 Från gas till kontor, Naaldjwijk (www.sustainablesteel.eu)*

*Figur 2.12 Från silo till kontor, Utrecht (www.sustainablesteel.eu)*

Andra mer specifika skäl kan också föreligga så som t ex praktiska svårigheter vid rivning (Parkwood Residences) eller möjlighet att kringgå nya strandskyddsregler (BMW Sales and Service Center).

Denna rapport fokuserar i första hand på återanvändning av standardkomponenter, dvs nedre delen av tabellen ovan.

Stålkomponenter kan delas in i olika typer, t ex:

- Bärande standardkomponenter (valsade profiler);
- Lätta komponenter;
- Bärande plåt;
- Icke bärande plåt;
- Infästningar, och;
- Armering.

Armering utgör en stor andel av stålanvändningen men är mycket svår att extrahera utan skador speciellt när det gäller stänger. Läget för samverkansplåt kan eventuellt förändras i framtiden om

demonterbara lösningar utvecklas för skjuvförbindelser. I dagsläget har inget exempel kunnat hittas där armering har återanvänts.

Svetsar och nitar kan inte demonteras utan att skadas. Vanliga demonterbara infästningar, dvs olika former av skruvar, möjliggör återanvändning av de sammanfogade komponenterna men är själva känsliga och i motsats till andra komponenter förändras deras egenskaper vid den första användningen. Även om deras mekaniska egenskaper är oförändrade, är det sannolikt att andra egenskaper som är viktiga vid montering har förändrats. Dessutom utgör infästningarna bara en liten del av kostnaderna och miljöpåverkan för en konstruktion.

Nya lösningar utvecklas ständigt och det är möjligt att sk reversibla infästningar introduceras och populariseras. I dagsläget är dessa dock marginella och vi bedömer att skruvar inte är lämpliga för återanvändning.

Icke bärande plåt används som beklädnad där estetik ofta spelar en viktig roll. Detta gör återanvändning problematisk men inte omöjlig, se La cuisine i Bilaga A, och metoder kan till och med utvecklas för att ge beklädnadsplåt ett nytt liv, se figur nedan.

*Figur 2.13 Befintlig och bearbetad fasadplåt, kv Nattugglan 14, Stockholm* (19)

Återanvändning av lätta komponenter och bärande plåt har rapporterats i samband med flytt av hela byggnader, se (18), men verkar sällsynt i övrigt. En förklaring kan vara att de är ömtåliga vid demontering och hantering, och arbetsintensiva i förhållande till sin vikt och värde.

Bästa förutsättningar för återanvändning har de grövre bärande komponenterna, dvs framförallt valsade profiler men även svetsade komponenter. De är stabilare och tack vare sin större vikt blir också avkastningen per arbetsinsats större (21).

## 2.5 Aktuella hinder och strategier för ökat återbruk

Återanvändning av stål kan reducera byggsektorns energianvändning och koldioxidutsläpp, och fallstudier visar att det kan bli till en praktisk och kostnadseffektiv praktik i vissa fall. Men statistik visar att återbruk ändå är sällsynt.

Densley Tingley (23) har undersökt hinder för återanvändning av stålkonstruktioner, först genom litteraturstudier och sedan med hjälp av undersökningar i Storbritannien. Från litteraturen kunde 24 olika hinder urskiljas och de sex vanligaste kan sammanfattas i följande kategorier:

1. Inbillade risker;
2. Högre kostnader;
3. Samverkanskonstruktioner;
4. Avsaknad av marknad och återbruksindustri;
5. Tidsbrist vid rivning, och;
6. Odemonterbara förband.

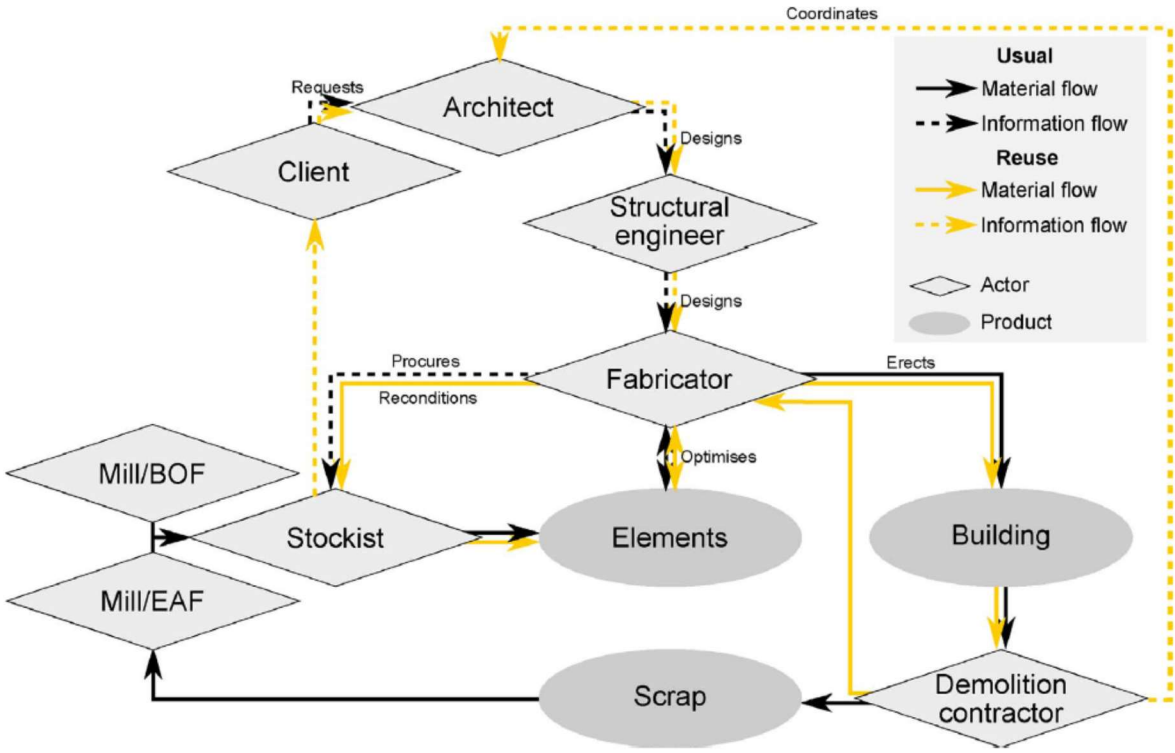
På en öppen fråga om möjliga hinder svarade de flesta respondenterna att rätt leverans i rätt tid inte kan säkerställas, följt av högre kostnader. Brist på kunskap och efterfrågan nämndes också samt problem med CE-märkning, certifiering och spårbarhet.

Sedan utvärderades en lista av olika hinder som ordnades efter relativ betydelse. De viktigaste är:

1. Kostnader;
2. Tillgång och lagring;
3. Efterfrågan och uppfattning;
4. Kvalitet och spårbarhet;
5. Brist på organiserad industri;
6. Brist på ekonomiskt incitament;
7. Tröghet i byggsektorn;
8. Inverkan på design;
9. Brist på kunskap;
10. Avsaknad av incitament, och;
11. Oklara fördelar.

Vissa tekniska problem begränsar återanvändning men många hinder beror snarare på hur byggprocessen organiseras.

Enligt Dunant (24) bör återbruk av stålkonstruktioner ses som ett komplext problem med ekonomiska, sociologiska, teknologiska och juridiska aspekter. Han ser arkitekten som samordnaren i mitten av informationsflödet. Det är arkitekten som aktivt väljer återanvänt stål framför nytt stål. Verkstaden (*fabricator*) hanterar det återanvända materialet direkt från rivningsentreprenören medan leverantören endast handlar med nya produkter. För att en återbruksmarknad ska uppstå bör enligt Dunant återanvänt stål bli omöjligt att särskilja från nytt stål. Denna synpunkt framkom även tydligt vid diskussioner med projektets referensgrupp.




*Figur 2.14 Byggprocess inklusive återvinning och -användning i Storbritannien enligt (24).*

Dunant definierar 8 kategorier av hinder och studerar hur dessa uppfattas av byggprocessens olika aktörer:

1. Kostnader och vinstmöjligheter (*profit opportunity/cost*)

   Detta avser kostnader för återanvändning och även risker som härrör från ovanlig praxis.

2. Samordning (*programme*)

   Återanvändning gör byggprocessen mindre förutsägbar vilket försvårar planering och samordning mellan yrkeskåren.

3. Kvalitet, certifiering och spårbarhet (*quality/certification/traceability*)

   Dagens stålbyggande baseras på CE-märkta produkter där certifiering är en del av tillverkningsprocessen. Det är oklart hur detta system kan tillämpas med återvunna komponenter.

4. Tillgång (*availability/dimensions*)

   Normalt antas att produkterna tillverkas efter att de föreskrivits. Tillgången på återvunna produkter är dock mer osäker och en viss anpassning kan krävas.

5. Kvalitetsuppfattning (*old/new perception*)

   Återanvänt stål kan uppfattas som mindre värt.

6. Tillit och kommunikation (*trust/lack of communication*)

   Byggprocessen delas normalt in i flera ansvarsområden och man litar inte alltid på att andra aktörer kan lyckas med utmaningar som uppstår vid avvikelser från praxis.

7. Avvikelser från praxis (*uncommon practice*)

   Nya arbetssätt kan kräva investeringar eller juridisk rådgivning.

8. Design för återanvändning (*design for deconstruction*)

   Återanvändning försvåras av att befintliga byggnader inte utformades för att lätt kunna demonteras.

De tre viktigaste hindren för hela processen identifieras som:

1. Tillgång;
2. Kvalitet, certifiering och spårbarhet, och;
3. Kostnader och vinstmöjligheter.

Det finns dock skillnader mellan aktörer, se tabell nedan.

*Tabell 2.4 Största hinder enligt olika aktörer*

| Aktör | Hinder nr 1 | Hinder nr 2 |
|---|---|---|
| Arkitekt och kund | Tillit och kommunikation | Kvalitetsuppfattning |
| Konstruktör | Design för återanvändning | Tillgång |
| Entreprenör | Tillgång | Ovanlig praxis |
| Smed | Kvalitet, certifiering och spårbarhet | Ovanlig praxis |
| Stålleverantör | Kvalitetsuppfattning | Kvalitet, certifiering och spårbarhet |
| Rivningsentreprenör | Design för återanvändning | Samordning |

Konstruktörer är positiva till återanvändning men ser tidspress som en begränsande faktor. Flexibiliteten som krävs vid återanvändning värderas inte tillräckligt högt av kunderna. Det finns också en skillnad mellan mindre företag med större insyn i hela processen och större företag där dimensionering och inköp hålls isär.

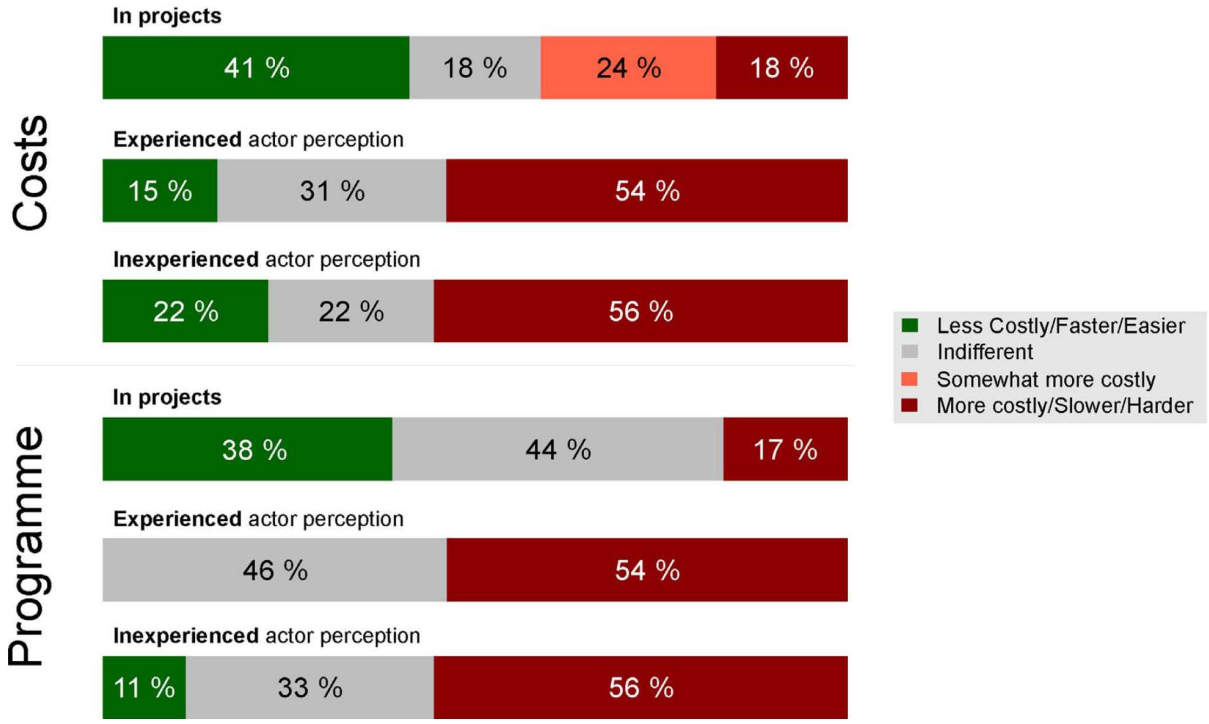
Smeder är generellt positiva till införandet av CE-märkning och oroliga för certifieringen av återanvänt stål. Dessutom kan återanvändning leda till mindre rationell användning av deras resurser om ingående produkter behöver hanteras och rekonditioneras styckvis. Föreskrifter bör vara så generella som möjligt för att främja flexibla materialval.

Leverantörer berörs av kvalitetsuppfattning och svårigheter att certifiera återanvänt stål. Normalt är omsättningshastigheten mycket hög, ca 48 timmar, och en ny modell med betydligt längre lagerhållning krävs för återanvänt stål.

Rivningsentreprenörer nämner byggnader som är problematiska att demontera och tidsbrist som de största hindren till återbruk. Stål behöver certifieras och efterfrågas av andra aktörer för att stimulera återbruk. Införandet av mekanisk rivning har lett till en bättre arbetsmiljö och det finns en skepsis mot mer riskfulla och arbetsintensiva metoder.

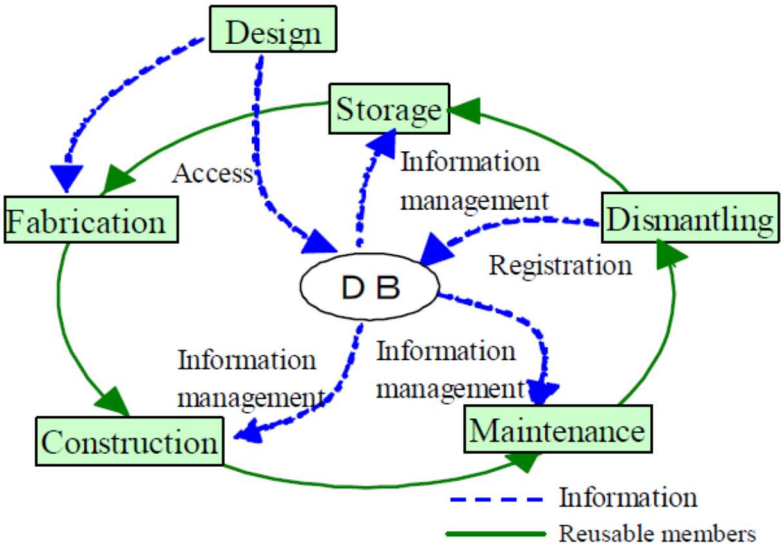
60 % av deltagarna i undersökningen hade egen erfarenhet av återbruk och det visade sig att deras negativa föreställningar inte stämde överens med mer nyanserade resultat från aktuella projekt, se figur nedan. Dunant skriver därför om verkliga och inbillade hinder. Troligen uppfattades frågorna som mer allmänna och respondenterna gav sin syn för hela byggprocessen snarare än utifrån sitt eget perspektiv.

Figur 2.15 nedan visar deltagarnas uppfattning om konsekvenserna av återbruk med hänsyn till kostnader (*Costs*) och byggprocess, dvs huruvida rätt material levereras vid rätt tid (*Programme*). Resultaten delas in mellan deltagarna med (*Experienced*) och utan (*Inexperienced*) egen erfarenhet av återbruk. Dessa resultat jämförs även med utfall av verkliga återbruksprojekt (*In projects*) som är betydligt mer positiva.

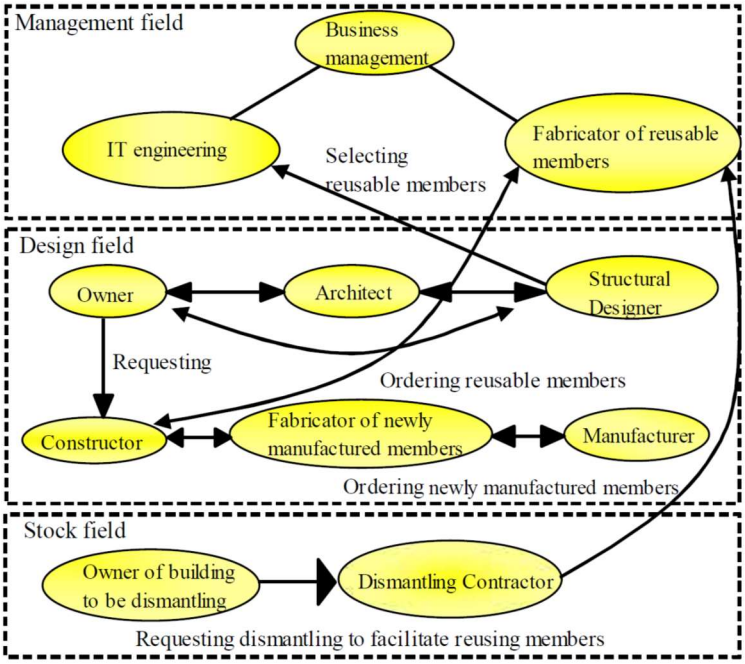



*Figur 2.15 Skillnader mellan föreställningar och aktuella utfall för aktörer med respektive utan egen erfarenhet om återbruk, enligt (24).*

Fujita och Iwata (5) fokuserar på ekonomiska och sociologiska aspekter. De utgår ifrån en bild av byggprocessen i Japan och definierar den aktuella byggindustrin som en ”arteriell industri” vilken förser byggbranschen med nya produkter. För att öka graden av återanvändning föreslår de en ny ”venös industri” som kan verka parallellt med den traditionella ”arteriella industrin”. Behovet av samordning mellan de olika aktörerna uppfylls med hjälp av ett centralt informationssystem (databas). Lösningen är någorlunda flexibel och underlättar för kunden (slutkund, arkitekt, konstruktör eller verkstad). Det krävs dock ett aktivt val mellan gamla eller nya produkter.



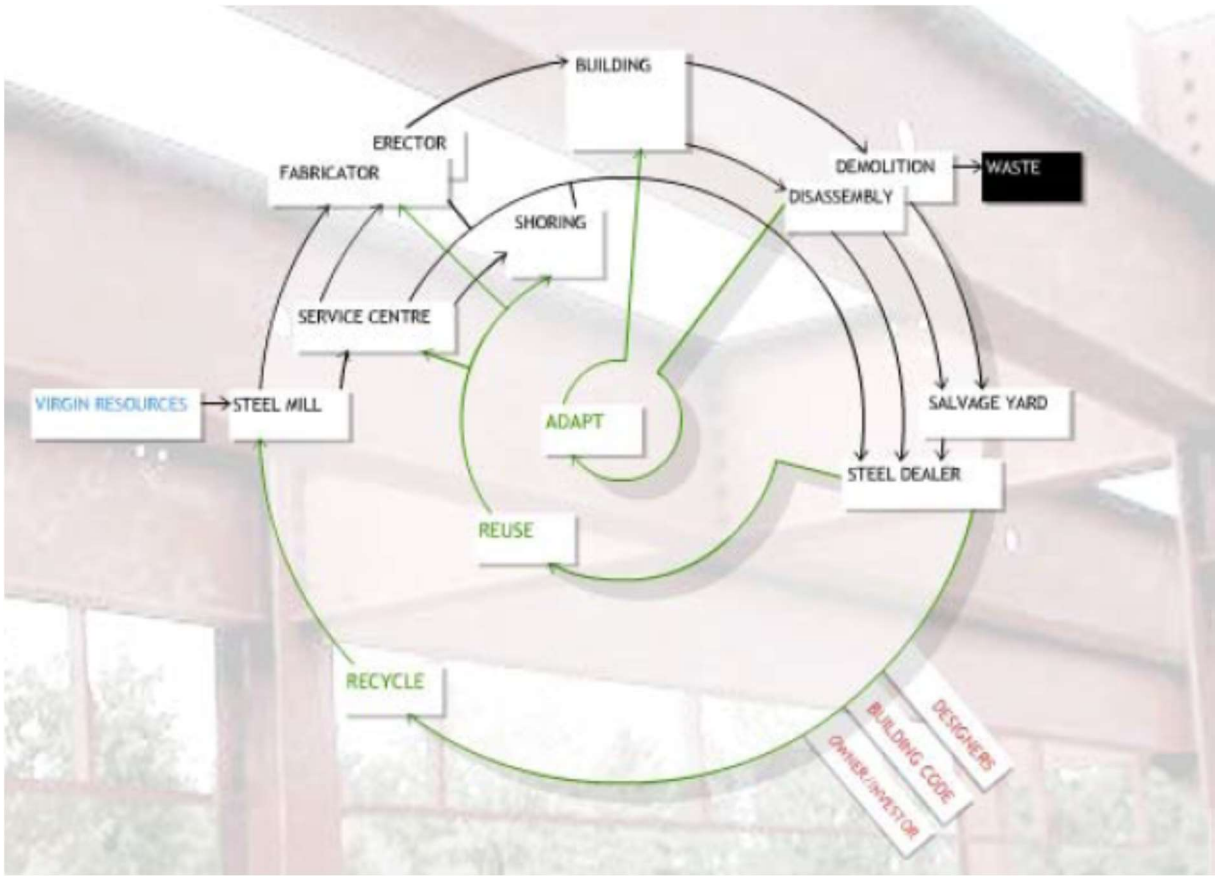

*Figur 2.16 Återanvändningsflöde enligt (5).*




*Figur 2.17 Byggprocess inklusive återanvändning enligt (5).*

Gorgolewski (21) har samlat ett stort antal fallstudier från återbruksprojekt och framhäver vikten av en bra kommunikation mellan flera viktiga aktörer. Han söker efter möjligheter att anpassa efterfrågan för och tillgång av återanvänt stål. Rivningsentreprenörer och stålleverantörer som ansvarar för tillgången anses vara viktigast. En tänkbar lösning kan vara ”utbytesbanker” på internet, som liknar Fujitas och Iwatas databas. Ett försök att etablera en sådan i Kanada verkar dock ha misslyckats. Mer

flexibilitet kan vara till hjälp men tidsbrist är en begränsningsfaktor för både demontering (tillgång) och design (efterfrågan).




*Figur 2.18 Byggprocess inklusive återvinning och -användning i Kanada enligt (21).*

Ett mindre antal inblandade aktörer ökar chansen att lyckas med ett återbruksprojekt vilket kan förklaras av ett gemensamt mål (större förståelse och engagemang för återbruk), kortare beslutsvägar (mer flexibel designprocess) och större tillit.

Tillit nämns också som det viktigaste hindret för återbruk i Brasilien (25).

2017 gav *Norska Stålforbundet* ut rapporten *Ombruk av konstruksjonsstål och tilhørende byggematerialer* (25) där elva hinder och möjliga lösningar beskrivs. Medan tidigare referenser handlar om analyser och forskning ger denna rapport mer konkreta tips om hur återbruk kan gå till. Bland annat diskuteras tolkningar av europeiska standarder och förslag på provningsprocedurer. Dessa aspekter behandlas senare i denna rapport.

Sammanfattningsvis verkar hindren till återanvändning av konstruktionsstål vara många och de kan analyseras och tolkas på olika sätt. Vi väljer här att dela in dem i fyra övergripande kategorier:

- Ekonomi;
- Teknik;
- Byggprocessens organisation, och;
- Incitament och Regelverk.

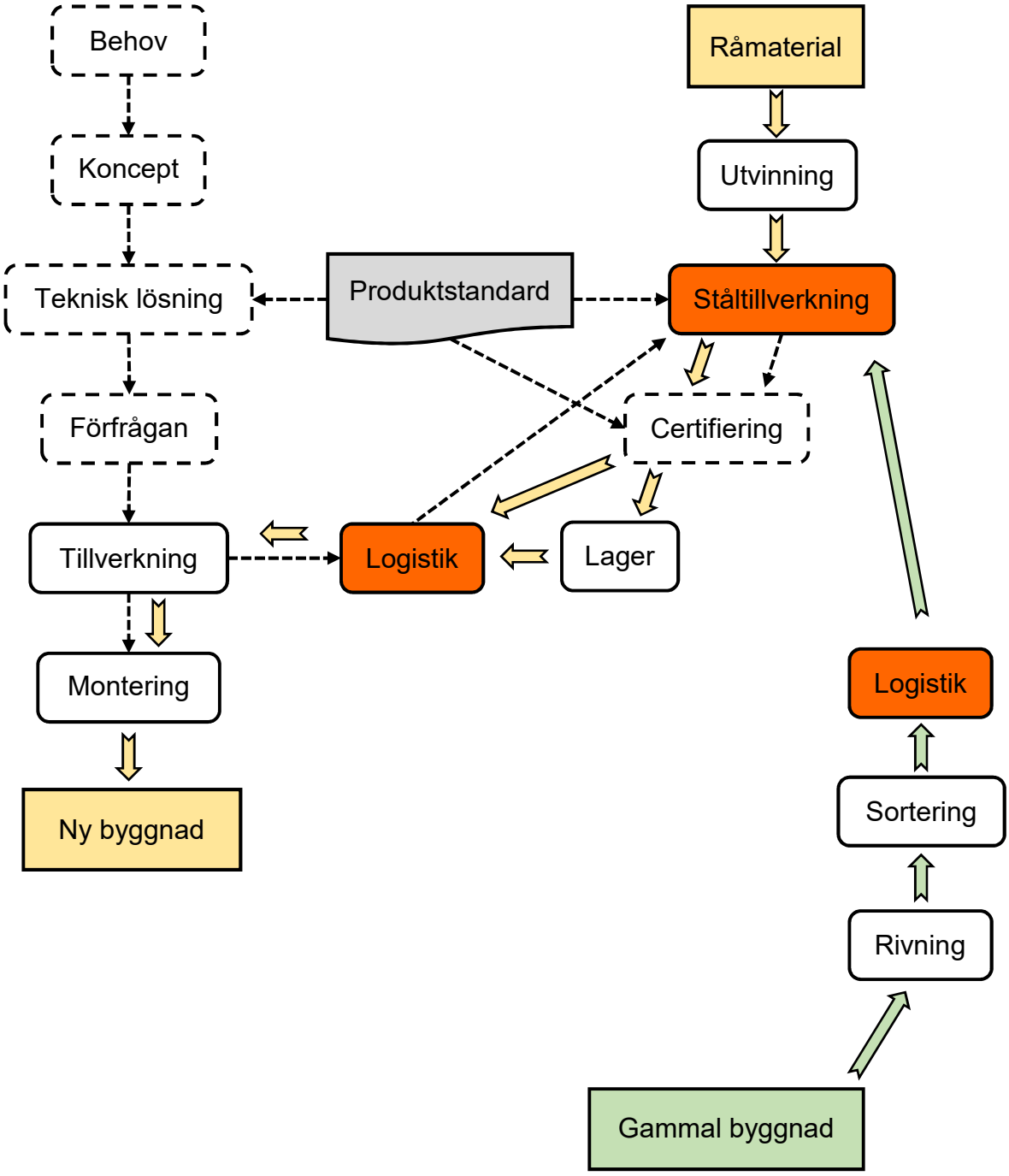
Fungerande tekniska lösningar är så klart en grundförutsättning men för att återbruk ska omfatta större volymer behövs även en ny organisering av byggprocessen som ser till att både efterfråga och tillgång ökar. Ändringar i regelverk och utformning av nya incitament kan vara till hjälp. I slutändan fungerar detta endast om företag ser en vinstmöjlighet, vilket betyder att övriga hinder måste övervinnas på ett kostnadseffektivt sätt.

# 3 Att bygga med nytt stål

## 3.1 Dagens Stålbyggande

### 3.1.1 Byggprocessen

Dagens stålbyggande är en industriell process som involverar många olika aktörer på en internationell marknad. God samordning mellan aktörerna är viktig. Därför har en hög grad av standardisering utvecklats vilket bland annat kräver omfattande dokumentation.




*Figur 3.1 Material- och informationsflöde i stålbyggnadsprocess utan återanvändning.*

Figur 3.1 visar material- och informationsflöde i den svenska stålbyggnadsprocessen, dvs med utbredd återvinning men utan återanvändning. Gula och gröna pilar representerar materialflöden i

produktionsprocessen från råmaterial respektive återvinningsprocessen tillbaka till tillverkning. Informationsflöden representeras av streckade pilar.

De avrundade blocken representerar delprocesser som är oberoende av entreprenadform. Detta möjliggör ett resonemang som inte baseras på indelning i klassiska aktörer och gör det enklare att föreslå förändringar och identifiera nya affärsmodeller.

Processen börjar på informationssidan från kundens behov som leder till ett koncept utan särskilda yttre begränsningar. Konceptet utvecklas till en mer detaljerad teknisk lösning vanligtvis baserad på standardprodukter. Samtidigt pågår utvinning av nytt råmaterial och återvinning samt tillverkning oberoende av enstaka projekt. Standarder kan ses som en länk mellan design och produktion. Konstruktören kan välja fritt mellan ett stort antal produkter med välkända egenskaper och samtidigt dra nytta av en storskalig industriell produktion.

Materialflöden kopplas in först efter en förfrågan som leder till tillverkning i verkstad och montering på byggplatsen. Produkterna som ingår i tillverkningsprocessen måste certifieras mot standarder så att antaganden från konstruktören säkerställs. Eftersom själva ståltillverkningen brukar frikopplas från enstaka projekt krävs vanligtvis någon form av lagring och logistik.

Återvinning är helt oberoende av byggprocessen. Stålskrot uppstår på många olika sätt och behöver sorteras innan det skickas till ståltillverkning. Vad gäller stålprodukter i äldre byggnader ingår även rivning i denna process.

Bland alla delprocesser är ståltillverkning och logistik de som kräver mest kapital och en stor infrastruktur. Dessa utförs därför normalt av ett fåtal stora aktörer på en internationell marknad.

### 3.1.2 Föreskrifter och kontroller

Konstruktören föreskriver material genom att ange en stålsort och en produktstandard, tex S355J2 enligt SS-EN 10025-2. Dessutom kan olika optioner föreskrivas som anger ytterligare egenskaper så som lämplighet för varmförzinkning, förbättrade egenskaper i tjockleksriktningen eller striktare krav på ytbeskaffenhet.

Vid valsade profiler anges dimensioner genom standardbeteckningar, tex HEA300. Aktuella standarder för dimensioner anges sällan specifikt.

Rostskydd kan anges som ett funktionskrav eller som en teknisk lösning inklusive förbehandlingsgrad och ytråhet.

Detta system gör det möjligt att föreskriva ett helt ”egenskapspaket” med få enkla hänvisningar. Det är mycket effektivt.

På produktionssidan kontrolleras ingående produkter mot beställning (mottagningskontroll) med hjälp av prestandadeklaration och kontrolldokument. Sedan 2014 är nya stålkomponenter CE-märkta.

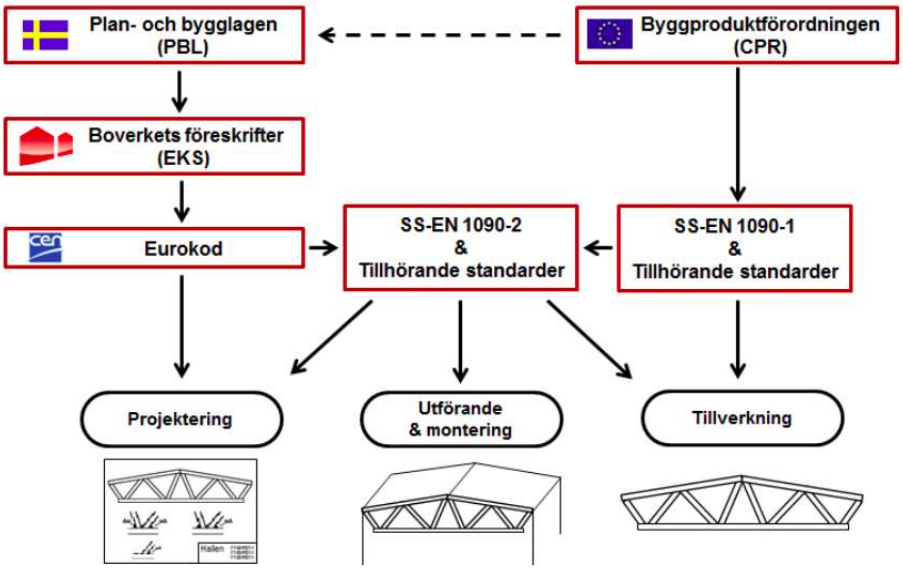
Regelverket beskrivs utförligt i nästa kapitel.

## 3.2 Regelverk

### 3.2.1 Allmänt

Det regelverk som styr dimensionering, utförande och kontroll av bärande stålkonstruktioner som uppförs på svensk mark är relativt välutvecklat och har sin grund i Byggproduktförordningen (CPR) och i Plan- och bygglagen (PBL), se figur 3.2.

Av de regelverk och standarder som illustreras i figur 3.2 är det endast PBL och EKS som ”ägs” av Sverige. De övriga hanteras på europeisk nivå, där Sverige som ett relativt litet land ofta har begränsade möjligheter att påverka. För de europeiska standarderna (EN-standarderna) i figur 3.2 ligger ansvaret för utformning och innehåll hos olika kommittéer inom CEN. Det övergripande paraplyet för eurokoderna är CEN/TC250, där CEN/TC250/SC3 svarar för Eurokod 3, medan CEN/TC135 ansvarar för bland annat EN 1090-1 och 1090-2. Detta europeiska system bygger på att de enskilda medlemsländerna har nationella ”speglingsgrupper” som hanterar frågeställningarna inom respektive land. I Sverige har SIS tekniska kommitté TK188 ansvar för Eurokod 3 såväl som för 1090-standarderna.




*Figur 3.2 Illustration av det gällande regelverket för bärverk i stål*

Sedan 1 juli 2014 har det varit krav på prestandadeklaration och CE-märkning för bärverk och bärverksdelar i stål. Detta krav kommer från CPR, som trädde i kraft 1 juli 2013 och som anger vissa övergripande, generella krav. För mer detaljerad information om vad som gäller för specifika byggprodukter hänvisar CPR vidare till så kallade harmoniserade standarder.

För bärverk och bärverksdelar i stål och aluminium är det den harmoniserade standarden SS-EN 1090-1 som är styrande. Tillverkare av bärverk och bärverksdelar i stål ska vara certifierade mot SS-EN 1090-1 för att få utfärda prestandadeklarationer och CE-märka sina produkter. Certifieringen utfärdas av ett så kallat anmält organ (t ex Nordcert) och gäller för en viss utförandeklass.

För utförande och kontroll hänvisar SS-EN 1090-1 i sin tur vidare till de andra fyra delarna av SS-EN 1090 beroende på vilket material (stål eller aluminium) som är aktuellt. För bärverk och bärverksdelar i stål gäller SS-EN 1090-2 och under sommaren 2018 introducerades en ny del, SS-EN 1090-4, som särskilt gäller för kallformade tunnplåtsprofiler i stål.

Man bör notera att kravet på certifiering endast gäller tillverkning i verkstad. CPR ställer inte krav på arbeten som utförs på byggarbetsplatsen. Den som utför arbete på byggarbetsplatsen, till exempel en stålentreprenör, behöver inte vara certifierad enligt SS-EN 1090-1. Däremot gäller kraven i SS-EN 1090-2 och SS-EN 1090-4 på utförande och kontroll även på byggarbetsplatsen eftersom dessa

standarder även har en koppling till de europeiska konstruktionsstandarderna som går under samlingsnamnet Eurokoderna.

Att bärande konstruktioner ska dimensioneras enligt Eurokoderna blev ett krav för byggprojekt med bygganmälan efter 2 maj 2011. Eurokod 3, som med sina tjugo delar ger regler för bärande konstruktioner i stål, förutsätter att utförandekraven i SS-EN 1090-2 och SS-EN 1090-4 är uppfyllda, vilket gör dessa standarder väldigt centrala för hela stålbyggnadsprocessen.

För vissa regler i Eurokoderna finns möjligheter att göra ”nationella val” och därigenom anpassa reglerna till nationella förhållanden och förutsättningar, t ex avseende partialkoefficienter relaterade till bärverkens tillförlitlighet. För de byggprojekt som faller under Boverkets myndighetsutövning samlats de svenska ”nationella valen” upp i *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av de europeiska konstruktionsstandarderna* (EKS).

I EKS ges inte enbart Boverkets nationella val för Eurokoderna. Här ges även vissa andra generella föreskrifter och allmänna råd, bland annat om samhällets krav på säkerhet, utförande och på kontroll av bärande konstruktioner och om ingående produkters egenskaper.

När det kommer till möjligheterna att återbruka stål i bärande konstruktioner som faller under Boverkets myndighetsutövande är det i huvudsak föreskrifterna och reglerna i EKS, SS-EN 1993 (Eurokod 3), SS-EN 1090-1, SS-EN 1090-2 och AMA/RA Hus 18 som i praktiken har betydelse. I de följande avsnitten 2.2.2 till 2.2.6 beskrivs föreskrifterna och reglerna i dessa dokument mer i detalj.

### 3.2.2 SS-EN 1993 – Eurokod 3

SS-EN 1993, Dimensionering av stålkonstruktioner, omfattar 20 enskilda delar, men det är den grundläggande delen, del 1-1 (SS-EN 1993-1-1) Allmänna regler och regler för byggnader, som innehåller ”principer” (föreskrifter), allmänna råd och möjligheter till nationella val som har betydelse i detta sammanhang.

Den nu gällande SS-EN 1993-1-1 fastställdes 2005, SS-EN 1993-1-1:2005, och publicerades i svensk översättning 2008. Därefter har ett tillägg, SS-EN 1993-1-1:2005/A1:2014, fastställts 2014 och publicerats i svensk översättning 2015. För närvarande pågår ett omfattande arbete med att revidera samtliga eurokoder. Detta görs i flera steg eftersom vissa delar av eurokoderna är beroende av andra, mer grundläggande delar. Revisionen av EN 1993-1-1 är i princip klar, men standarden, än så länge benämnd prEN 1993-1-1:2018, kommer inte att publiceras förrän alla delar har reviderats och kan publiceras gemensamt, vilket idag tros kunna ske bortåt 2022 eller 2023.

Tillförlitligheten, eller säkerheten om man så vill, hanteras i EN 1993 genom att den dimensionerande bärförmågan, $R_d$, beräknas genom att tillämpa en global partialkoefficient för aktuell bärförmåga, $\gamma_M$, på den karakteristiska bärförmågan, $R_k$: $R_d = R_k/\gamma_M$

I SS-EN 1993-1-1:2005, 6 Brottgränstillstånd, anges under 6.1(1) att för olika karakteristiska värden för bärförmågan i SS-EN 1993-1-1:2005, 6 Brottgränstillstånd, bör följande partialkoefficienter tillämpas:

- bärförmåga för tvärsnitt oavsett tvärsnittsklass – $\gamma_{M0}$ (rek. värde för byggnader = 1,00)
- bärförmåga med hänsyn till instabilitet – $\gamma_{M1}$ (rek. värde för byggnader = 1,00)
- bärförmåga med hänsyn till dragbrott – $\gamma_{M2}$ (rek. värde för byggnader = 1,25)
- bärförmåga för knutpunkter – se EN 1993-1-8 (den del av EN 1993 som handlar om förband)

Det lämnas öppet att i den nationella bilagan göra nationella val för $\gamma_M$-värdena om man inte vill tillämpa de rekommenderade värdena ovan. Detsamma gäller de $\gamma_M$-värden som anges i andra delar av SS-EN 1993.

I SS-EN 1993-1-1:2005, 1.3 Förutsättningar, anges att en förutsättning för tillämpning av beräkningsreglerna i SS-EN 1993 är att tillverkning och montering överensstämmer med EN 1090 (Utförande av stål- och aluminiumkonstruktioner). I SS-EN 1993-1-1:2005/A1:2014 förtydligas att hänvisningen gäller

- SS-EN 1090-1, Utförande av stål- och aluminiumkonstruktioner – Del 1: Bedömning av bärverksdelars överensstämmelse med ställda krav, samt
- SS-EN 1090-2, Utförande av stål- och aluminiumkonstruktioner – Del 2: Stålkonstruktioner

Beträffande de egenskaper som kan vara aktuella i samband med återanvändning av stål anges i SS-EN 1993-1-1:2005, 2.3 Grundläggande variabler, att materialegenskaper för stål och andra produkter samt de geometriska data som används för dimensionering bör vara de som specificeras i relevanta ENs, ETAGs eller ETAs, om inte annat anges i denna standard (2.3.2 (1)).

I 2.4.1(1)P (”P” står för ”Princip”, alltså motsvarande en föreskrift i t ex EKS) anges att karakteristiska värden $X_k$ eller nominella värden $X_n$ för materialegenskaper vid dimensionering av bärverk i stål ska användas som de är givna i SS-EN 1993-1-1:2005.

Angående dimensioneringsvärden för geometriska data anges i 2.4.2(1) att geometrisk data för tvärsnitt och system kan hämtas från olika produktstandarder hEN eller tillverkningsritningar enligt EN 1090 och behandlas som nominella värden.

Ovanstående principer och råd har lämnats i princip oförändrade i den reviderade versionen prEN 1993-1-1:2018 och kan tolkas som att de krav på materialegenskaper som anges i EN 1993-1-1 ska följas, men beträffande geometriska data ges en öppning att föreskriva alternativa värden i tillverkningsritningar för ett specifikt projekt. För återanvändning av stål kan det senare ha viss betydelse då det är möjligt att t ex äldre valsade profiler kan ha andra tvärsnittsmått än enligt nu gällande produktstandarder.

De generella kraven på materialegenskaper hanteras i SS-EN 1993-1-1, avsnitt 3, Material. I 3.1(1) anges att vid dimensionering bör nominella värden på materialegenskaperna enligt detta kapitel användas som karakteristiska värden. I 3.1(2) sägs att denna del av EN 1993 omfattar dimensionering av bärverk i stål tillverkade av material som överensstämmer med stålsorterna i Tabell 3.1 i SS-EN 1993-1-1 (se tabell 3.1), men till denna paragraf hör även en så kallad ”anmärkning” (ANM) som säger att den nationella bilagan kan ange andra stålsorter och produkter. Här ges alltså möjlighet att göra ett nationellt val som öppnar för att tillåta andra stålsorter än de som anges i tabell 2.1.

För konstruktionsstål (SS-EN 1993-1-1, 3.2) anges under 3.2.1 Materialegenskaper i (1) att nominella värden på sträckgränsen $f_y$ och brottgränsen $f_u$ bör bestämmas genom att antingen a) anta att $fy = R_{eh}$ och $f_u = R_m$ enligt produktstandarden eller b) använda de förenklade värdena i Tabell 3.1 (se tabell 3.1). Även här ges det möjlighet att genom ett nationellt val ange vilket alternativ som ska tillämpas.

I 3.2.2, Duktilitetskrav, anges i (1) att för stål krävs en lägsta duktilitet som bör uttryckas som begränsningar av:

- förhållandet $f_u/f_y$ mellan föreskriven lägsta brottgräns $f_u$ och föreskriven lägsta sträckgräns $f_y$
- förlängningen vid brott på en mätlängd av 5,65 $A_0$, där $A_0$ är ursprunglig tvärsnittsarea
- brottöjningen $\varepsilon_u$, där $\varepsilon_u$ motsvarar brottgränsen $f_u$

Återigen ges möjlighet till nationella val beträffande ovanstående begränsningsvärden, men följande värden rekommenderas i SS-EN 1993-1-1:2005, 3.2.2(1):

- $f_u/f_y \geq 1{,}10$
- förlängning vid brott inte mindre än 15 %
- $-\varepsilon_u > 15\varepsilon_y$ ($\varepsilon_y = f_y/E$)

I 3.2.2(2) förtydligas att stål som överensstämmer med någon av stålsorterna i Tabell 3.1 (se tabell 3.1) kan antas uppfylla kraven i 3.2.2(1). För de stålsorter som listas i tabell 3.1 kan man alltså utgå från att de uppfyller duktilitetskraven, men för andra stål kan man behöva verifiera att kraven uppfylls.

Beträffande brottseghet anges i 3.2.3(1)P att materialet ska ha tillräckligt god seghet för att undvika sprödbrott av dragna element vid den lägsta drifttemperatur som förväntas inträffa inom tänkt livslängd för bärverket, och här kan man i den nationella bilagan ange en lägsta drifttemperatur som kan antas vid dimensionering. I 3.2.3(2) förtydligas att ingen ytterligare kontroll av sprödbrott behöver

göras om villkoren i SS-EN 1993-1-10 (behandlar seghet och egenskaper i tjockleksriktningen) är uppfyllda för den lägsta drifttemperaturen.

*Tabell 3.1 Nominella värden för sträckgräns $f_y$ och brottgräns $f_u$ för varmvalsat konstruktionsstål (motsvarande Tabell 3.1 i SS-EN 1993-1-1:2005)*

| Standard och stålsort | Nominell tjocklek $t$ [mm] | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $t \leq 40$ mm | | 40 mm < $t \leq 80$ mm | |
| | $f_y$ [MPa] | $f_u$ [MPa] | $f_y$ [MPa] | $f_u$ [MPa] |
| EN 10025-2 | | | | |
| S 235 | 235 | 360 | 215 | 360 |
| S 275 | 275 | 430 | 255 | 410 |
| S 355 | 355 | 510 | 335 | 470 |
| S 450 | 440 | 550 | 410 | 550 |
| EN 10025-3 | | | | |
| S 275 N/NL | 275 | 390 | 255 | 370 |
| S 355 N/NL | 355 | 490 | 335 | 470 |
| S 420 N/NL | 420 | 520 | 390 | 520 |
| S 460 N/NL | 460 | 540 | 430 | 540 |
| EN 10025-4 | | | | |
| S 275 M/ML | 275 | 370 | 255 | 360 |
| S 355 M/ML | 355 | 470 | 335 | 450 |
| S 420 M/ML | 420 | 520 | 390 | 500 |
| S 460 M/ML | 460 | 540 | 430 | 530 |
| EN 10025-5 | | | | |
| S 235 W | 235 | 360 | 215 | 340 |
| S 355 W | 355 | 510 | 335 | 490 |
| EN 10025-6 | | | | |
| S 460 Q/QL/QL1 | 460 | 570 | 440 | 550 |
| EN 10210-1 | | | | |
| S 235 H | 235 | 360 | 215 | 340 |
| S 275 H | 275 | 430 | 255 | 410 |
| S 355 H | 355 | 510 | 335 | 490 |
| S 275 NH/NLH | 275 | 390 | 255 | 370 |
| S 355 NH/NLH | 355 | 490 | 335 | 470 |
| S 420 NH/NHL | 420 | 540 | 390 | 520 |
| S 460 NH/NLH | 460 | 560 | 430 | 550 |
| EN 10219-1 | | | | |
| S 235 H | 235 | 360 | | |
| S 275 H | 275 | 430 | | |
| S 355 H | 355 | 510 | | |
| S 275 NH/NLH | 275 | 370 | | |
| S 355 NH/NLH | 355 | 470 | | |
| S 460 NH/NLH | 460 | 550 | | |
| S 275 MH/MLH | 275 | 360 | | |
| S 355 MH/MLH | 355 | 470 | | |
| S 420 MH/MLH | 420 | 500 | | |
| S 460 MH/MLH | 460 | 530 | | |

De produktstandarder som refereras till i tabell 3.1 är:

- EN 10025-2, Varmvalsade konstruktionsstål – Del 2: Tekniska leveransbestämmelser för olegerade stål
- EN 10025-3, Varmvalsade konstruktionsstål – Del 3: Tekniska leveransbestämmelser för normaliserade/normaliservalsade finkornstål
- EN 10025-4, Varmvalsade konstruktionsstål – Del 4: Tekniska leveransbestämmelser för termomekaniskt valsade finkornstål
- EN 10025-5, Varmvalsade konstruktionsstål – Del 5: Tekniska leveransbestämmelser för konstruktionsstål med förbättrat motstånd mot atmosfärisk korrosion
- EN 10025-6, Varmvalsade konstruktionsstål – Del 6: Tekniska leveransbestämmelser för platta produkter av höghållfaststål i seghärdat tillstånd
- EN 10210-1, Varmformade eller värmebehandlade konstruktionsrör av olegerat stål och finkornstål – Del 1: Tekniska leveransbestämmelser
- EN 10219-1, Kallformade svetsade konstruktionsrör av olegerat stål och finkornstål – Del 1: Tekniska leveransbestämmelser

I den nya reviderade prEN 1993-1-1:2018 har vissa ändringar gjorts i detta avsnitt 3 (som i den reviderade versionen är avsnitt 5) avseende krav på materialegenskaper. Stycke 3.1(1) och 3.1(2) kvarstår i princip oförändrad, inklusive det nationella valet till 3.1(2), men man har lagt till en till tabell (i den reviderade versionen Tabell 5.1 och 5.2) eftersom standarden har utökats med fler stålsorter upp till och med S700.

I avsnitt 5.1 (motsvarande 3.1 i SS-EN 1993-1-1:2005) har man dock lagt till ytterligare ett stycke, 5.1(3)P, som säger att om andra stål än de som beskrivs i 5.1(2) (se 3.1(2) ovan) används ska deras egenskaper (mekaniska egenskaper och svetsbarhet) vara kända och de mekaniska egenskaperna ska uppfylla kraven i 5.2.2 (duktilitet), 5.2.3 (brottseghet) och 5.2.4 (egenskaper i tjockleksriktningen) och provning ska göras enligt relevant EN, ISO eller EN-ISO-standard. Detta nya stycke som introduceras underlättar användning av andra, t ex återanvända, stål än de som omfattas av nu gällande produktstandarder och här ges även information om vilka krav sådana stål ska uppfylla och hur kravuppfyllandet ska verifieras.

Beträffande kraven på materialegenskaper i SS-EN 1993-1-1, 3.2.1(1), har man i den nya reviderade versionen kompletterat med att om man som nationellt val tillämpar alternativ b) (de förenklade värdena i de nya tabellerna 5.1 och 5.2) behöver partialkoefficienten $\gamma_{M1}$ ökas samt att regler för tillämpning av stålen enligt de nya tabellerna 5.1 och 5.2 kan anges som ett nationellt val.

Duktilitetskraven har i den ny reviderade versionen (prEN 1993-1-1, 5.2.2) ändrats så att kravet för brottöjning, $\varepsilon_u$, har tagits bort samt att kraven för $f_u/f_y$ och förlängning vid brott är följande om inget annat anges som nationellt val:

a) För plastisk global analys
   - $f_u/f_y \geq 1{,}10$
   - förlängning vid brott $\geq$ 15 %

b) För elastisk global analys
   - $f_u/f_y \geq 1{,}05$
   - förlängning vid brott $\geq$ 12 %

Kraven på brottseghet och egenskaper i tjockleksriktningen är oförändrade i prEN 1993-1-1:2018 i förhållande till SS-EN 1993-1-1:2005. Vägledning för val av egenskaper i tjockleksriktningen ges i SS-EN 1993-1-10. Om sådana krav ställs bör stål med erforderlig kvalitetsklass enligt SS-EN 10164 väljas.

I den nya reviderade prEN 1993-1-1:2018 införs även en ny informativ bilaga E som kan vara av intresse i detta sammanhang. I denna bilaga ges information om det statistiska underlag för vissa mekaniska

och geometriska parametrar som använts för att kalibrera (enligt SS-EN 1990, bilaga D) de partialkoefficienter $\gamma_M$ som ges i EN 1993-1-1.

Detta statistiska underlag återges i tabell 3.2 och tabell 3.3 och kan eventuellt användas för att med en viss sannolikhet bestämma stålsorten för en viss återanvänd komponent där man bestämt sträckgräns eller brottgräns.

*Tabell 3.2 Antagen variation för materialegenskaper enligt prEN 1993-1-1:2018, bilaga E*

| Parameter | Stålsort | Medelvärde $X_m$ | Variations-koefficient | Karakteristiskt värde $X_{k,th}$ |
|---|---|---|---|---|
| Sträckgräns, $f_y$ | S235, S275 | 1,25 $R_{eH,min}$ | 5,5% | 1,14 $R_{eH,min}$ |
| | S355, S420 | 1,20 $R_{eH,min}$ | 5,0% | 1,11 $R_{eH,min}$ |
| | S460 | 1,15 $R_{eH,min}$ | 4,5% | 1,07 $R_{eH,min}$ |
| | > S460 | 1,10 $R_{eH,min}$ | 3,5% | 1,04 $R_{eH,min}$ |
| Brottgräns, $f_u$ | S235, S275 | 1,20 $R_{m,min}$ | 5,0% | 1,11 $R_{m,min}$ |
| | S355, S420 | 1,15 $R_{m,min}$ | 4,0% | 1,08 $R_{m,min}$ |
| | ≥ S460 | 1,10 $R_{m,min}$ | 3,5% | 1,04 $R_{m,min}$ |
| Elasticitetsmodul, $E$ | Alla stålsorter | 210000 N/mm$^2$ | 3,0% | 200000 N/mm$^2$ |

*Tabell 3.3 Antagen variation för tvärsnittsdimensioner enligt prEN 1993-1-1:2018, bilaga E*

| Mått | Parameter | Medelvärde $X_m$ | Variations-koefficient | Karakteristiskt värde $X_{k,th}$ |
|---|---|---|---|---|
| Yttre dimensioner för tvärsnitt | Höjd $h$ | 1,0 $h_{nom}$ [a] | 0,9% | 0,98 $h_{nom}$ [a] |
| | Bredd $b$ | 1,0 $b_{nom}$ [a] | 0,9% | 0,98 $b_{nom}$ [a] |
| | Yttre diameter $d$ för cirkulära rörprofiler | 1,0 $d_{nom}$ [a] | 0,5% | 0,99 $d_{nom}$ [a] |
| Plåttjocklek | I- och H-profiler: flänstjocklek, $t_f$ | 0,98 $t_{f,nom}$ [a] | 2,5% | 0,95 $t_{f,nom}$ [a] |
| | I- och H-profiler: livtjocklek, $t_w$ | 1,0 $t_{w,nom}$ [a] | 2,5% | 0,96 $t_{w,nom}$ [a] |
| | Valsade rörprofiler, tjocklek, $t$ | 0,99 $t_{nom}$ [a] | 2,5% | 0,95 $t_{nom}$ [a] |
| | kallformade profiler tillverkade av coils, $t$ | 0,99 $t_{nom}$ [a] | 2,5% | 0,95 $t_{nom}$ [a] |
| | Plåtar, tjocklek, $t$ | 0,99 $t_{nom}$ [a] | 2,5% | 0,95 $t_{nom}$ [a] |
| [a] nominella dimensioner enligt tillämplig produkstandard eller specifikation. | | | | |

### 3.2.3 Boverkets EKS

Den första EKS (EKS 1, BFS 2008:8 EKS1) trädde i kraft den 1 juli 2008 och har sedan dess utkommit i flera nya versioner. Den nu (hösten 2018) gällande versionen kallas EKS 10 och trädde i kraft 1 januari 2016. En ny version, EKS 11, har varit ute på remiss under våren 2018 och förväntas träda i kraft senast 1 juli 2019.

EKS 10 är indelad i olika avdelningar. I detta sammanhang är det föreskrifterna och de allmänna råden i Avdelning A – Övergripande bestämmelser samt Avdelning E – EN 1993 – Stålkonstruktioner, och särskilt Kap. 3.1.1 – Tillämpning av SS-EN 1993-1-1 – Allmänna regler och regler för byggnader, som är intressanta.

**EKS 10, Avdelning A**

Föreskrifterna i EKS 10 gäller (Avd A, 2 §) vid uppförande av nya byggnader, ändring av byggnader i den utsträckning som följer av 31-38 §§ och vid mark och rivningsarbeten. Föreskrifterna gäller även på motsvarande sätt i tillämpliga delar vid uppförande och ändring av andra byggnadsverk än byggnader, där brister i byggnadsverkens bärförmåga, stadga och beständighet kan förorsaka risk för oproportionerligt stora skador. Byggnadsnämnden får dock (Avd A, 3 §) i enskilda fall medge mindre avvikelse från föreskrifterna i EKS 10 om det finns särskilda skäl att byggnadsprojektet ändå kan antas bli tekniskt tillfredsställande och att det inte finns någon avsevärd olägenhet från annan synpunkt.

Enligt EKS 10, Avd A, 17 § ska material till bärande konstruktioner, inklusive jord och berg, ha kända, lämpliga och dokumenterade egenskaper i de avseenden som har betydelse för deras användning.

I EKS 10 används begreppet ”byggprodukter med bedömda egenskaper” med vilket avses (Avd A, 18 §) produkter som tillverkats för att permanent ingå i byggnadsverk och som antingen

a) Är CE-märkta,
b) Är typgodkända och/eller tillverkningskontrollerade enligt bestämmelserna i 8 kap. 22-23 §§ PBL,
c) Har certifierats av ett certifieringsorgan som ackrediterats för uppgiften och för produkten i fråga enligt förordning (EG) nr 765/2008 av den 9 juli 2008 om krav för ackreditering och marknadskontroll i samband med saluföring av produkter och upphävande av förordning (EEG) nr 339/93, eller
d) Har tillverkats i en fabrik vars tillverkning och produktionskontroll och utfallet därav för byggprodukten fortlöpande övervakas, bedöms och godkänns av ett certifieringsorgan som ackrediterats för uppgiften och för produkten ifråga enligt förordning (EG) nr 765/2008.

För att byggprodukten ska anses ha bedömda egenskaper ska verifieringen vid tillämpning av alternativ c och d ovan ha en sådan omfattning och kvalitet att det säkerställs att uppgivna material- och produktegenskaper stämmer med de faktiska. Verifieringen ska motsvara minst vad som är beslutat för CE-märkning av liknande produkter.

Till 18 § i Avd A följer ett allmänt råd som säger att byggprodukter vars egenskaper bedömts enligt alternativen a, c eller d inte innebär att produkten bedömts mot svenska krav på byggnadsverk i EKS 10 eller i Boverkets byggregler (BBR) utan endast att byggherren ska ha tilltro till den deklaration av produktens egenskaper som medföljer.

Denna 18 § i Avd A är inte så lätt att tolka, men i 19 § anges i princip att om det finns en harmoniserad standard att CE-märka mot gäller enbart alternativ a) i 18 §. Eftersom det finns flera harmoniserade produktstandarder för konstruktionsstål och liknande, och även SS-EN 1090-1 för utförande av stålkonstruktioner och bedömning av bärverksdelars överensstämmelse med ställda krav, kan man anta det är CE-märkning (alternativ a) i 18 §) som gäller för bärande komponenter i stål.

I EKS 10, Avd A, 7 § anges att mottagningskontroll av material och produkter samt kontroll av utförande enligt 26 och 27 §§ är ett villkor för all verifiering som inkluderar bärförmåga.

Byggherren (26 §, Avd A) måste förvissa sig om att material och byggprodukter har sådana egenskaper att materialen och produkterna korrekt använda i byggnadsverket gör att detta kan uppfylla egenskapskraven i EKS 10 och i BBR. Med mottagningskontroll avses i EKS 10 byggherrens kontroll av att material och produkter har förutsatta egenskaper när de tas emot på byggplatsen. Har produkterna bedömda egenskaper enligt 18 § kan mottagningskontrollen inskränkas till identifiering, kontroll av märkning och granskning av produktdeklarationen för att säkerställa att varorna har förutsatta egenskaper. Om byggprodukternas egenskaper inte är bedömda i den mening som avses i 18 § fordras verifiering genom provning eller annan inom europeiska unionen vedertagen metod så att egenskaperna är kända och kan värderas avseende lämplighet.

Till 26 § följer ett allmänt råd som upplyser om att byggprodukter vars egenskaper bedömts enligt alternativen a, c eller d i 18 § inte innebär att produkten bedömts mot svenska krav på byggnadsverk i

EKS 10 eller i BBR. Sådana bedömningar innebär endast att byggherren ska ha tilltro till den produkt- eller prestandadeklaration av produktens egenskaper som medföljer. Med ledning av produkt- eller prestandadeklarationen kan byggherren avgöra om byggprodukten är lämplig för aktuell användning. För byggprodukter med bedömda egenskaper behöver byggherren inte göra någon egen provning av dessa egenskaper.

Slutligen anges i 39 § i Avd A att vid dimensionering och uppförande av byggnadsverk ska sådana europastandarder (eurokoder) som anges i 41 § (där listas ett stort antal eurokoder, bl a alla delar av EN 1993) användas för att verifiera bärförmåga, stadga och beständighet. I 39 § anges även att i EKS 10 anges vilka nationellt valda parametrar som gäller i Sverige vid tillämpningen av eurokoder och att i de fall inga nationella val anges i EKS 10 gäller eurokodens rekommendationer. I 39 § påpekas dock också att som alternativ till eurokoderna får andra beräkningsmetoder användas om dessa ger minst lika eller högre säkerhetsindex som de som anges i 7 § i Avd A för respektive säkerhetsklass.

Av 40 § i Avd A framgår att om inget annat anges i EKS 10 för respektive standard ska de stycken som i standarden är märkta med bokstaven P (principer) efter styckenumret anses vara föreskrifter och övriga stycken (råd) ska anses vara allmänna råd.

39 – 41 §§ i Avd A ger alltså information om kopplingen mellan EKS 10 och SS-EN 1993 (se avsnitt 2.2.2), om hur de nationella valen tillämpas i Sverige och vad som gäller för principer och råd i SS-EN 1993.

De ändringar i remissutgåvan av EKS 11 i förhållande till EKS 10 som berör de delar av Avd A som tagits upp här är att man strukit formuleringen i 7 § om att mottagningskontroll av material och produkter samt kontroll av utförande enligt 26 och 27 §§ är ett villkor för all verifiering som inkluderar bärförmåga, samt att man i 26 § lagt till ett inledande förtydligande att mottagningskontroll alltid ska göras.

**EKS 10, Avdelning E, Kap. 3.1.1**

I EKS 10, Kap. 3.1.1, anges nationella val för de stycken i SS-EN 1993-1-1:2005 som tas upp i avsnitt 2.2.2 där nationella val är möjliga.

Beträffande stycke 3.1(2) i SS-EN 1993-1-1:2005, angående stålsorter, anges i EKS 10, Kap. 3.1.1, 3 §, att även stålsorter enligt nedanstående tabell kan användas samt att ytterligare stålsorter ges i SS-EN 1993-1-12 (behandlar tilläggsregler för stål S460 – S700).

*Tabell 3.4 Stålsorter som kan användas enligt EKS 10, Kap 3.1.1, utöver de stålsorter som anges i SS-EN 1993-1-1:2005, Tabell 3.1 (stålen bör beställas med provning av slagseghet enligt SS-EN 10149-1, avsnitt 1, option 5)*

| Standard | Stålsort | $f_y$ [MPa] | $f_u$ MPa] |
|---|---|---|---|
| SS-EN 10149-2 | S 315MC | 315 | 390 |
| | S 355MC | 355 | 430 |
| | S 420 MC | 420 | 480 |
| | S 460MC | 460 | 520 |
| SS-EN 10149-3 | S 260NC | 260 | 370 |
| | S 315NC | 315 | 430 |
| | S 355NC | 355 | 470 |
| | S 420NC | 420 | 530 |

För det nationella valet i stycke 3.2.1(1) i SS-EN 1993-1-1:2005 anges i EKS 10, Kap. 3.1.1, 5 §, att alternativ a ska användas, vilket innebär att i Sverige ska $f_y = R_{eh}$ och $f_u = R_m$ enligt produktstandarden tillämpas.

I stycke 3.2.2(1) i SS-EN 1993-1-1:2005 ges möjlighet att göra nationella val för begränsningsvärdena kopplade till duktilitet. Här har man i EKS 10, Kap. 3.1.1, 6 §, valt att ange att för brottförlängning gäller $\geq$ 14 % och i övrigt följa de rekommenderade värdena i stycke 3.2.2(1).

Angående stycke 3.2.3(1)P i SS-EN 1993-1-1:2005 om brottseghet anges i EKS 10, Kap. 3.1.1, 7 §, som nationellt val att för byggnader kan lägsta användningstemperatur beräknas med hjälp av SS-EN 1991-1-5:2003 med tillhörande nationell bilaga, alternativt kan en lägsta användningstemperatur för konstruktion utomhus eller i ouppvärmt utrymme antas vara -40 °C för val av seghetsklass. Eftersom det anges att detta nationella val gäller för konstruktion utomhus eller i ouppvärmt utrymme kan det tolkas som att i uppvärmda utrymmen (inomhus) räcker en annan, lägre, seghetsklass.

För stycke 3.2.4(1) i SS-EN 1993-1-1:2005 om egenskaper i tjockleksriktningen anges i EKS 10, Kap. 3.1.1, 8 §, som nationellt val att om $Z_{Ed} \leq 10$ finns inget krav och om $Z_{Ed} > 10$ gäller $Z_{Rd}$ = Z 35 enligt SS-EN 10164 (för $Z_{Ed}$ se SS-EN 1993-1-10).

I EKS 10, Kap. 3.1.1, 11 §, ges de nationella valen för partialkoefficienterna i SS-EN 1993-1-1:2005, 6.1(1). Där framgår att för byggnader och byggnadsverk som inte täcks av SS-EN 1993 del 2 till del 6 ska följande partialkoefficienter användas:

- $\gamma_{M0} = 1{,}0$
- $\gamma_{M1} = 1{,}0$
- $\gamma_{M2} = 0{,}9 f_u/f_y$ dock högst 1,1

De ändringar som föreslås i remissutgåvan av EKS 11 berör inte delar av EKS 10, Kap. 3.1.1 som tagits upp här.

### 3.2.4 SS-EN 1090-1

Tillverkare (verkstäder, stålentreprenörer) av bärande komponenter och byggsatser i stål måste vara certifierade enligt SS-EN 1090-1 för att få utfärda en prestandadeklaration och CE-märka sina produkter.

SS-EN 1090-1 ger entreprenörer och tillverkare krav och vägledning för rutiner och kvalitetssystem så att de kan certifieras för att kunna CE-märka produkterna. Standarden anger även vilka krav som ska vara uppfyllda för CE-märkning av bärverk i stål och vad som ska ingå i tillverkarens prestandadeklaration (se tabell 3.5).

Kravet på en viss egenskap gäller inte i de medlemsstater där lagstiftning saknas avseende egenskapen för komponentens avsedda användning. Tillverkare som marknadsför sina produkter i dessa medlemsstater behöver vare sig fastställa eller deklarera komponenten med avseende på denna egenskap och alternativet "Inga egenskaper fastställda" (No performance determined - NPD) kan användas i den information som åtföljer CE-märkningen (se SS-EN 1090-1, ZA.3). NPD-alternativet får däremot inte användas om ett tröskelvärde används för egenskapen. Inga tröskelvärden gäller för de egenskaper som anges i tabell ZA.1, förutom där egenskapen deklareras med hjälp av egenskaper hos ingående produkter som är baserade på tröskelvärden, t ex svetsbarhet och brottseghet för stålkomponenter.

Certifiering enligt SS-EN 1090-1 görs av ett anmält organ efter en godkänd första besiktning av tillverkarens anläggning och system för tillverkningskontroll (FPC). Certifikatet gäller inom hela EES-området. Fortsatt certifiering förutsätter återkommande besiktningar av ett anmält organ.

Tillverkning definieras i SS-EN 1090-1 som de arbetsmoment som krävs för att framställa en komponent. Sådana arbetsmoment kan till exempel vara beredning, svetsning, mekanisk fastsättning, montering, provning och även dokumentering av deklarerade egenskaper.

Tillverkningen av komponenter ska, enligt SS-EN 1090-1, styras av en komponentspecifikation som ger all nödvändig information för tillverkning och utvärdering av komponentens överensstämmelse med ställda krav. Vem som ansvarar för komponentspecifikationens innehåll beror bland annat på om upphandlingen görs som en utförande- eller en totalentreprenad.

*Tabell 3.5 Egenskaper som ska deklareras i tillverkarens prestandadeklaration enligt SS-EN 1090-1, tabell ZA.1*

| ER [a] | Egenskap | Anmärkningar |
|---|---|---|
| 1 | Toleranser för mått och form | Toleranser anges med gränserna för väsentliga toleranser i SS-EN 1090-2 eller SS-EN 1090-3 |
| 1 | Svetsbarhet | Denna egenskap anges genom hänvisning till ingående produkternas material och deras EN-standard(er) |
| 1 | Brottseghet<br><br>Slaghållfasthet | För stålkomponenter får brottseghetsvärdet bestämmas genom slagenergin i ett slagprov enligt SS-EN 1993-1-10. För aluminiumkomponenter krävs ingen deklaration av denna egenskap. |
| 1 | Bärförmåga[b] | Denna egenskap får deklareras enligt den metod som beskrivs i ZA.3.3. Utförandeklasser ska anges enligt SS-EN 1090-2 eller SS-EN 1090-3. |
| 1 | Utmattningshållfasthet[b] | Denna egenskap får deklareras enligt den metod som beskrivs i ZA.3.3. Utförandeklasser ska anges enligt SS-EN 1090-2 eller SS-EN 1090-3. |
| 2 | Brandmotstånd[b] | Denna egenskap får deklareras enligt den metod som beskrivs i ZA.3.3 (R, E, I och M och erforderlig klassificering). |
| 2 | Reaktion vid brandpåverkan | Klass A1 för ej belagda komponenter. För belagda komponenter sker klassificering enligt SS-EN 13501-1. I detta sammanhang betraktas eloxering och förzinkning inte som beläggning. |
| 3 | Frigörande av kadmium och föreningar därav | Denna egenskap deklareras genom hänvisning till den EN-standard som gäller för de ingående produkter som används. |
| 3 | Radioaktiv strålning | Denna egenskap deklareras genom hänvisning till den EN-standard som gäller för de ingående produkter som används. |
| | Beständighet | Egenskapen ska deklareras enligt kraven i komponentspecifikationen. |
| [a] ER = grundläggande krav, se CPD | | |
| [b] Dessa egenskaper definieras som bärförmågeegenskaper | | |

En tillverkare är, enligt byggproduktförordningen, en fysisk eller juridisk person som tillverkar, eller låter konstruera eller tillverka, en byggprodukt och saluför den under eget namn eller varumärke. Den process tillverkaren ansvarar för kan alltså även omfatta underleverantörer, stålgrossister, konstruktörer etc. Detta ansvar gäller även om hela eller delar av tillverkningen görs utanför EU.

Tillverkaren ansvarar för att en CE-märkt bärande komponent eller byggsats uppfyller de aktuella kraven enligt SS-EN 1090-1 och ansvarar även för att deklarera detta. Om tillverkaren svarar för både dimensionering och tillverkning ska även dimensioneringsarbetet täckas av FPC och vara certifierat enligt SS-EN 1090-1.

Certifieringen och kraven på CE-märkning och utfärdande av prestandadeklarationer gäller endast tillverkning i verkstad. Byggproduktförordningen och SS-EN 1090-1 ställer inga krav på arbeten som utförs på byggarbetsplatsen. Den som utför arbete på byggarbetsplatsen, till exempel en montör, behöver därför inte vara certifierad enligt SS-EN 1090-1. Däremot gäller kraven i SS-EN 1090-4 på utförande och kontroll även på byggarbetsplatsen.

Kraven på certifiering enligt SS-EN 1090-1, CE-märkning och prestandadeklaration gäller inte alla stålkomponenter. Endast sådana bärverksdelar i stål som är byggprodukter som påverkar byggnadsverkets bärförmåga, stadga och beständighet. Exempel på sådana komponenter är fackverk, pelare, balkar, reglar, profiler, trapetsplåt etc. Det kan även vara så att produkten omfattas av en annan harmoniserad standard och produkten ska i så fall CE-märkas enligt denna standard.

SS-EN 1090-1 har en stark koppling till SS-EN 1090-2, genom att SS-EN 1090-1 hänvisar till SS-EN 1090-2 för ingående produkter, toleranser för mått och form, regler för utförande och kontroll av stålkonstruktioner etc.

### 3.2.5 SS-EN 1090-2

SS-EN 1090-2 kom nyligen ut i en reviderad version, SS-EN 1090-2:2018, som i jämförelse med den tidigare versionen, SS-EN 1090-2:2008/A1:2011, innebär vissa förändringar till det bättre avseende förutsättningarna att återanvända stålkomponenter i bärande konstruktioner. SS-EN 1090-2 anger krav för utförande för att uppnå tillräckligt hög kvalitetsnivå med hänsyn till mekanisk bärförmåga och stabilitet, brukbarhet samt beständighet för stålkonstruktioner som har dimensionerats enligt SS-EN 1993-serien och de delar av stål som ingår i samverkanskonstruktioner och som har dimensionerats enligt SS-EN 1994-serien.

SS-EN 1090-2 är en omfattande standard med 12 kapitel och 13 bilagor på totalt cirka 200 sidor. De krav som berör återanvändning av stål återfinns huvudsakligen i kapitel 5, Ingående produkter.

Ingående produkter används i SS-EN 1090-2 som en sammanfattande benämning för de material som används för att tillverka en komponent och som förblir en del av komponenten, t ex konstruktionsstål, rostfritt stål, mekaniska fästdon eller svetsmaterial. SS-EN 1090-2, kapitel 5 är förutom en allmän inledande del (5.1) indelad i:

5.2 Identifiering, kontrollintyg och spårbarhet
5.3 Produkter av konstruktionsstål
5.4 Gjutstål
5.5 Förbrukningsmaterial för svetsning
5.6 Mekaniska fästdon
5.7 Svetsbultar och skjuvförbindare
5.8 Armeringsstål som svetsas till konstruktionsstål
5.9 Undergjutningsmaterial
5.10 Övergångskonstruktioner för broar
5.11 Höghållfasta kablar, stänger och ändbeslag
5.12 Bärverkslager

Här tas endast de krav upp som berör profiler och plåtar i avsnitt 5.1 till 5.3, inte krav kopplade till fästelement, tillsatsmaterial etc.

Enligt SS-EN 1090-2, avsnitt 5.1, ska produkter som används vid utförande av stålkonstruktioner i allmänhet väljas från de europeiska standarder som anges i SS-EN 1090-2, kapitel 5. Det ges dock en öppning för att använda andra produkter, t ex återanvänt stål, i och med att det anges att om icke-standardiserade produkter används ska i tillämpliga fall följande egenskaper föreskrivas:

- Hållfasthet (sträck- och brottgräns)
- Brottförlängning
- Tvärkontraktionstal (om så erfordras)
- Toleranser för dimensioner och form
- Slag- eller brottseghet (om så erfordras)
- Leveransvillkor för värmebehandling
- Egenskaper i tjockleksriktningen, Z-värde (om så erfordras)
- Begränsningar för inre diskontinuiteter eller sprickor i områden som ska svetsas (om så erfordras)
- Därutöver ska, om stålet ska svetsas, dess svetsbarhet deklareras enligt följande:
- Klassificering i enlighet med systemet för gruppering av metalliska material i CEN ISO/TR 15608, eller
- En övre gräns för stålets kolekvivalent, eller
- En deklaration av stålets kemiska sammansättning som är tillräckligt detaljerad för att kolekvivalenten ska kunna beräknas.

Här kan tilläggas att om man inte har mer specifik information om stålkomponenternas användning bör man utgå från att allt stål i ett stålbärverk kan komma att svetsas.

Enligt SS-EN 1090-2, 5.1, är definitioner och krav enligt EN 10021 tillämpliga tillsammans med kraven i aktuell europeisk produktstandard.

I SS-EN 1090-2, avsnitt 5.2 ges krav för identifiering, kontrollintyg och spårbarhet. Här anges att levererade ingående produkters egenskaper ska vara dokumenterade på ett sätt som medger att de kan jämföras med föreskrivna egenskaper.

För konstruktionsstål i hållfasthetsklass ≤ S275 och för rostfritt stål med 0,2-gräns ≤ 240 MPa gäller kvalitetsintyg 2.2 enligt SS-EN 10204 (leverantören intygar att varorna överensstämmer med beställning och lämnar resultat från icke specifik kontroll, d v s provning utförd på samma typ av vara men inte nödvändigtvis den som levereras).

För konstruktionsstål i hållfasthetsklass > S275 och för rostfritt stål med 0,2-gräns > 240 MPa gäller kontrollintyg 3.1 enligt SS-EN 10204 (leverantören intygar att varorna överensstämmer med beställning och anger provningsresultat, dokumentet valideras av oberoende auktoriserad kontrollant).

För konstruktionsstål i hållfasthetsklass ≤ S275 anges även att kontrollintyg 3.1 krävs om föreskriven minsta sträckgräns är 275 MPa och föreskriven slagenergi provas vid temperatur under 0 °C. För konstruktionsstål generellt anges att EN 10025-1:2004 fordrar att de ämnen som ingår i formeln för kolekvivalent ska anges i kontrolldokumentet. Redovisning av andra tillsatsämnen som fordras enligt EN 10025-2 innefattar Al, Nb och Ti.

Beträffande spårbarhet anges i SS-EN 1090-2, avsnitt 5.2, att i EXC3 och EXC4 ska ingående produkter vara spårbara i alla stadier från mottagande till överlämnade av den färdiga konstruktionen. Om inte spårbarhet föreskrivs för enskilda produkter får spårbarhet baseras på dokumentation för tillverkningsparti av produkter tillverkade i samma process.

Enligt avsnitt 5.3 i SS-EN 1090-2 ska, om inte annat föreskrivs, produkter av konstruktionsstål uppfylla de krav som ges av standarder angivna i tabell 3.6 till tabell 3.8. Stålsort och vid behov även ytbeläggningens vikt och finish ska föreskrivas tillsammans med krav på optioner som tillåts i standarden, inklusive sådana om lämplighet för varmförzinkning.

*Tabell 3.6 Standarder för produkter av konstruktionsstål enligt SS-EN 1090-2*

| Produkt | Tekniska leveransvillkor | Dimensioner | Toleranser |
|---|---|---|---|
| I- och H-stång | EN 10025-1 och EN 10025-2 EN 10025-3 EN 10025-4 EN 10025-5 EN 10025-6 | EN 10365 | EN 10034 |
| INP | | EN 10365 | EN 10024 |
| UNP och UPE | | EN 10365 | EN 10279 |
| Vinkelstång | | EN 10056-1 | EN 10056-2 |
| T-stång | | EN 10055 | EN 10055 |
| Plattstång och plåt | | Inte tillämpligt | EN 10029, 10051 |
| Rundstång | | EN 10017, 10058, 10059, 10060, 10061 | EN 10017,10058, 10059, 10060, 10061 |
| Varmformade rör | EN 10210-1 | EN 10210-2 | EN 10210-2 |
| Kallformade rör | EN 10219-1 | EN 10219-2 | EN 10219-2 |
| Anmärkning: EN 10020 ger definitioner och klassificering av stålsorter. Beteckningar för stål med namn och nummer ges i EN 10027-1 och -2. | | | |

*Tabell 3.7 Produktstandarder för band lämpliga för kallformning enligt SS-EN 1090-2*

| Produkt | Tekniska leveransvillkor | Toleranser |
|---|---|---|
| Olegerade konstruktionsstål | EN 10025-2 | EN 10051 |
| Svetsbara finkornstål | EN 10025-3 och -4 | EN 10051 |
| Höghållfasta kallformningsstål | EN 10149-1, 10149-2, 10149-3, 10268 | Saknas |
| Kallvalsade stål | ISO 4997 | EN 10131 |
| Varmbelagda band | EN 10292, 10326, 10327 | EN 10143 |
| Organiskt belagda band | EN 10169-2, 10169-3 | EN 10169-1 |
| Smala band | EN 10139 | EN 10048, 10140 |

*Tabell 3.8 Produktstandarder för rostfritt enligt SS-EN 1090-2*

| Produkt | Tekniska leveransvillkor | Toleranser |
|---|---|---|
| Plåt och band | EN 10088-4 | EN ISO 9444-2, EN-ISO 9445 (alla delar), EN ISO 18286 |
| Svetsade rör | EN 10296-2 | EN ISO 1127 |
| Sömlösa rör | EN 10297-2 | |
| Stänger | EN 10088-5 | EN 10017, 10058, 10059, 10060, 10061 |
| Anmärkning: Beteckningar för stål med namn och nummer ges i EN 10088-1. | | |

För produkter av konstruktionsstål som inte uppfyller de krav som ges i relevant produktstandard enligt tabell 3.6 till tabell 3.8 ska produktens deklarerade egenskaper jämföras med de krav som föreskrivs i förteckningen över utförandekrav. Det ska anges hur de deklarerade egenskaperna har fastställts, t ex genom hänvisning till referensstandarder för provningsmetoder som använts för att bestämma värden för deklarerade egenskaper, om egenskaperna är specifika för ett identifierat parti, en gjutning eller en smälta, och om den kemiska sammansättningen baseras på charge- eller produktanalys.

Om inte annat föreskrivs ska tjocklekstoleranser vara klass A enligt SS-EN 10029 för varmvalsade stålplåtar och enligt SS-EN ISO 18286 för varmvalsade rostfria stålplåtar. För kolstål är kraven på ytbeskaffenhet Klass A1 enligt SS-EN 10163-2 för plåt och plattstång och Klass C1 enligt SS-EN 10163-3 för profiler. Ytbeskaffenhet för rostfritt stål ska uppfylla krav enligt SS-EN 10088-4 för plåt och band och enligt SS-EN 10088-5 för profiler. För andra produkter ska krav på ytbeskaffenhet föreskrivas. Kraven ska hänvisa till berörda europeiska eller internationella specifikationer.

## 3.3 Tidigare standarder och praxis

### 3.3.1 Tidigare standarder för stålkonstruktioner

Den första stålbyggnadsnormen för hus-, bro- och vattenbyggnader är 1919 års *Järnbestämmelser* som reviderades 1931 och 1938 utan större förändringar gällande husbyggnadskonstruktioner.

*Byggnadsstyrelsens Anvisningar till Byggnadsstadga* (Kungl. Byggnadsstyrelsens publikationer 1946:1), BABS 46, träder i kraft den 7 december 1945.

Stålkonstruktioner ska även utföras enligt *Normalbestämmelser för järnkonstruktioner till byggnadsverk* (SOU 1938:37) som anger bla metoder för provning. Två stålsorter tillåts, St37 och St44, se figur nedan.

*Valsjärn, utom bult- och nitjärn, samt plåt.*

| Material | Brottgräns $\sigma_B$ kg/mm² | Tänjbarhet $\delta$ % |
|---|---|---|
| Valsat stål St 37 ..... | 37—45 | $\geqq$ 20 |
| » » St 44 ..... | 44—52 | $\geqq$ 20 |

*Figur 3.3 Egenskaper hos tillåtna stålsorter enligt SOU 1938:37.*

Ytterligare krav på kemisk sammansättning för stål avsett till svetsning ges i BABS 46, se figur nedan.

| Stålsort | Brottgräns $\sigma_B$ kg/mm² | Undre sträckgräns $\sigma_{Su}$ kg/mm² | Förlängning $\delta$ % |
|---|---|---|---|
| St 37 | 37—45 | $\geqq$ 22 | $\geqq$ 20 |
| St 44 | 44—52 | $\geqq$ 26 | $\geqq$ 20 |

| Stålsort[1] | Kol | Kisel | Fosfor | Svavel | Koppar | Krom |
|---|---|---|---|---|---|---|
| St. 37 S | — | — | 0,07 | 0,05 | — | — |
| St. 44 SO | 0,25 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,3 | 0,2 |
| St. 44 ST | 0,20 | 0,40 | 0,05 | 0,05 | 0,3 | 0,2 |

[1] S betecknar svetsbart, O otätat och T tätat stålmaterial.

*Figur 3.4 Egenskaper hos stålsorter tillåtna för svetsning enligt BABS 46.*

*Byggnadsstyrelsens Anvisningar till Byggnadsstadga* (Kungl. Byggnadsstyrelsens publikationer 1950:1), BABS 50, ersätter BABS 46 den 1 april 1950 och en ny stålkvalité, St 52, tillkommer samtidigt som nya svenska beteckningar introduceras, se figur nedan.

| Material | Form | Dimension mm | Undre sträckgräns minst $\sigma_{su}$ kg/mm² | Brottgräns $\sigma_B$ kg/mm² | Förlängning[2] minst $\delta^2$ % | Beteckning enligt svensk standard |
|---|---|---|---|---|---|---|
| St 37 | Plåt | $a^3 \leqq 50$ | 22 | 37—45 | 20 | 13 10 |
| | | $a > 50$ | 20 | 37—45 | 20 | |
| | Stång | — | 22 | 37—45 | 20 | |
| St 44 | Plåt, Stång | $a \leqq 30$ | 26 | 44—54 | 20 | 14 10 |
| | | $a > 30$ | 25 | 44—54 | 20 | |
| St 52 | Plåt, Stång | $a < 18$ | 34 | 52—65 | 18 | 15 10 |
| | | $18 < a \leqq 30$ | 33 | 52—65 | 18 | |
| | | $30 < a \leqq 50$ | 32 | 52—65 | 18 | |

[1] För tvärprov gälla 2 enheter lägre värde.
[2] $\delta$ = brottöjning vid dragprov av provstav, mätt på viss mätlängd. För stav med tvärytan $A \geqq 2{,}5$ mm² men $< 300$ mm² är mätlängden $L = 10\ d$ vid runt tvärsnitt eller generellt $L = 11{,}3\sqrt{A}$. För $A \geqq 300$ mm² men $\leqq 900$ mm² är mätlängden $L = 200$ mm. Såväl diametern $d$ som tvärytan $A$ gäller ursprungligt mått.
[3] $a$ betecknar diameter för rundstång, godstjocklek för plåt, profilstång och rör samt eljest diametern för den största cirkel som kan inskrivas i tvärsnittet.

*Figur 3.5 Egenskaper hos tillåtna stålsorter enligt BABS 50.*

För svetsade konstruktioner hänvisas till rekommendationer från Ingenjörsvetenskapsakademiens svetskommission (IVA). Stålsorter avsedda för svetsning betecknas med bokstaven S, tex St 37 S, och det ställs utökade krav på mekaniska egenskaper och kemisk sammansättning, se figur nedan.

| Material | Form | Dimension mm | Undre sträckgräns minst $\sigma_{su}$ kg/mm² | Brottgräns $\sigma_B$ kg/mm² | Förlängning[1] minst $\delta^2$ % | Beteckning enligt svensk standard |
|---|---|---|---|---|---|---|
| St 37 S[3] | Plåt | $a^2 \leqq 50$ | 22 | 37—45 | 20 | 13 11 |
| | | $a > 50$ | 20 | 37—45 | 20 | |
| | Stång | — | 22 | 37—45 | 20 | |
| St 44 S | Plåt, Stång | $a \leqq 30$ | 26 | 44—52 | 20 | 14 11 |
| | | $a > 30$ | 25 | 44—52 | 20 | |
| St 52 S | Plåt, Stång | $a \leqq 18$ | 34 | 52—62 | 18 | 21 14 |
| | | $18 < a \leqq 30$ | 33 | 52—62 | 18 | |
| | | $30 < a \leqq 50$ | 32 | 52—62 | 18 | |

[1] För tvärprov gälla 2 enheter lägre värden.
[2] Betr. definitionen av $a$ och $\delta$ se not i tabell 1.
[3] S betecknar att stålets sammansättning är avpassad för svetsning.

| Material | | Kol % max. | Kisel % max. | Fosfor % max. | Svavel % max. | Krom % max. | Koppar % max. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| St 37 S[1] | | — | — | 0,06[2] | 0,06 | — | — |
| St 44 S | Analys 1[3] | 0,20 | 0,40 | 0,05[2] | 0,05 | 0,2 | 0,2 |
| | Analys 2[3] | 0,25 | 0,05 | 0,06[2] | 0,05 | 0,2 | 0,3 |
| St 52 S | | 0,20 | 0,50 | 0,05 | 0,05 | 0,2 | 0,3 |

[1] S betecknar att stålets sammansättning är avpassad för svetsning.
[2] För thomasstål 0,08.
[3] Materialet får levereras efter endera av analyserna.

*Figur 3.6 Egenskaper hos stålsorter tillåtna för svetsning enligt BABS 50.*

*Byggnadsstyrelsens Anvisningar till Byggnadsstadga* (Kungl. Byggnadsstyrelsens publikationer 1960:1), BABS 60 träder i kraft den 1 juli 1960 och nya SIS-normer från 1 januri 1960 introduceras, se figur nedan.

| SIS[2]) stål | Tidigare beteckning | Form | Dimension | $\sigma_{su}$ kg/mm² min. | $\sigma_B$ kg/mm² min. | $\delta_{10}$ ($\delta_L$) % min. | Desoxidationsgrad | C % ca | Si % ca | Mn % ca | Anmärkning |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Allmänna konstruktionsstål | | | | | | | | | | | |
| 1300 | St 00 | Plåt<br>Stång | | — | ≦ 50 | — | | 3) | — | — | Handelsstål utan särskilda fordringar. |
| 1310 | St 37 N | Plåt | $a \leqq 50$<br>$a > 50$ | 22<br>20 | 37<br>37 | 20<br>20 | tätat<br>halvtätat | 0,12<br>0,12 | 0,25<br>0,1 | 0,5<br>0,5 | Med reservation lämpligt för svetsade konstruktioner[4]) |
| | | Stång | | 22 | 37 | 20 | otätat | 0,15 | 0,01 | 0,4 | |
| 1311 | St 37 S | Plåt | $a \leqq 50$<br>$a > 50$ | 22<br>20 | 37<br>37 | 20<br>20 | tätat<br>halvtätat | 0,12<br>0,12 | 0,25<br>0,1 | 0,5<br>0,6 | Avsett för svetsade konstruktioner[4]) |
| | | Stång | | 22 | 37 | 20 | otätat | 0,15 | 0,01 | 0,4 | |
| 1410 | St 44 N | Plåt<br>Stång | $a \leqq 30$<br>$a > 30$ | 26<br>25 | 44<br>44 | 20<br>20 | tätat<br>halvtätat<br>otätat | 0,20<br>0,20<br>0,25 | 0,25<br>0,1<br>0,01 | 0,6<br>0,7<br>0,4 | Med reservation användbart för svetsade konstruktioner[4]) |
| 1411 | St 44 S | Plåt<br>Stång | $a \leqq 30$<br>$a > 30$ | 26<br>25 | 44<br>44 | 20<br>20 | tätat<br>halvtätat<br>otätat | 0,15<br>0,15<br>0,20 | 0,25<br>0,1<br>0,01 | 0,6<br>0,7<br>0,4 | Avsett för svetsade konstruktioner[4]) |
| 1510 | St 52 N | Stång | $a \leqq 18$<br>$18 < a \leqq 30$<br>$30 < a \leqq 50$ | 34<br>33<br>32 | 52<br>52<br>52 | 18<br>18<br>18 | Analys 1<br>» 2 | 0,2<br>0,4 | —<br>— | 1,5<br>0,5 | Ej avsett för svetsade konstruktioner |
| 2114 | St 52 S | Plåt<br>Stång | $a \leqq 18$<br>$18 < a \leqq 30$<br>$30 < a \leqq 50$ | 34<br>33<br>32 | 52<br>52<br>52 | 18<br>18<br>18 | | 0,18 | 0,3 | 1,2 | Avsett för svetsade konstruktioner |

1) Beträffande materialfordringar, se även SIS 11 00 01 »Allmänna tekniska leverans- och kontrollbestämmelser».
2) SIS-normerna är numrerade med siffrorna 14 före stålets nummer t. ex. SIS 14 13 10 för stål 1310.
3) C-halten kan variera inom vida gränser.
4) Beträffande närmare upplysningar om stålets lämplighet för svetsning hänvisas till uppgifter på normbladets baksida.

*Figur 3.7 Översikt över vanliga svenska standardstålkvaliteter enligt BABS 60.*

Svensk Byggnorm 67 (SBN 67) *Föreskrifter, råd och anvisningar för byggnadsväsendet*, också kallad BABS 67, introduceras den 1 januari 1968. För stålkonstruktioner hänvisar SBN 67 till Planverkets särskilda publikationer. Supplement SBN-S 26 ges ut samma år.

Stålbyggnadsnorm 70 (StBK-N1) ges ut av Statens Stålbyggnadskommitté några år senare, i 1971, och betraktas som de första moderna reglerna för stålkonstruktioner i Sverige. Dimensionering baserades dock fortfarande på tillåtna spänningar. Regler för svetsade konstruktioner följer 1974 genom Byggsvetsnormen (StBK-N2).

Statens planverk reviderar svenska byggnormer 1979 och inför partialkoefficientmetoden och systemet med säkerhetsklasser i *SBN Avd 2A Bärande konstruktioner* (Statens planverks författningssamling 1979:7).

Partialkoefficientmetoden ligger också till grund för nya *Bestämmelser för stålkonstruktioner* som publiceras 1987, BSK 87.

Boverkets tidigare nybyggnadsregler, NR, ersätts den 1 januari 1994 av *Boverkets byggregler* BBR tillsammans med *Boverkets konstruktionsregler* BKR som samlar föreskrifter och allmänna rån för bla stålkonstruktioner. *Bestämmelser för stålkonstruktioner* BSK degraderas till *Boverkets handbok om stålkonstruktioner* vilken revideras tre gånger: BSK 94, BSK 99 och BSK 07.

Samtidigt utvecklas Eurokoderna. SS-EN 1993-1-1 publiceras på svenska i maj 2005. En förutsättning vid dimensionering enligt Eurokod är att utförande följer reglerna i SS-EN 1090-2 som publiceras 2008. Vidare innehåller *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeisk konstruktionsstandarder*, EKS, regler för ur Eurokoderna ska tillämpas i Sverige. EKS1 (BFS 2008:8 EKS1) träder i kraft den 1 juli 2008.

### 3.3.2 Äldre standarder för konstruktionsstål

Den första standarden från Sveriges Standardiseringskommission som behandlar konstruktionsstål är från 1937. Då används beteckningen St följd av minsta brottgränsen i kg/mm$^2$, tex St37, och bokstaven N hänvisar till normalt stål medan bokstaven S används för svetsbara stål. Samma beteckningar används i DIN standarder.

Svenska stålbeteckningar införs 1946 och kallas SIS-stål eller SS-stål. Standarder för konstruktionsstål ingår i gruppen SIS 14 XX XX där XX XX är själva stålbeteckningen.

Svetsbara stål med garanterat god svetsbarhet började tillverkas i större omfattning på 1950-talet (26).

Tabellen nedan visar standardbeteckningar för konstruktionsstål mellan åren 1937 och 1971.

| År 1937 | 1946 | 1948 | 1954 | 1961 | 1964 | 1965 | 1967 | 1971 | $\sigma_{B,min}$ N/mm$^2$ | $\sigma_{su,min}$ N/mm$^2$ | Upplysning |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| St 30 | | | | | | | | | 300 | - | Mjukt stål för smidning |
| | SIS 1210 | 1210 | | | | | | | max 420 | - | |
| St 34 | | | | | | | | | 340 | - | |
| St 00 | SIS 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | max 500 | - | Handelsstål utan särskilda fordringar |
| St 37N | SIS 1310 | 1310 | 1310[1)] | | | | | | 360 | 220 | |
| St 37S | SIS 1311 | 1311 | 1311[1)] | 1311 | 1311 | 1311 | 1311 | 1311 | " | " | |
| | | | | 1312 | 1312 | 1312 | 1312 | 1312 | " | " | |
| | | | | 1313 | 1313 | 1313 | 1313 | 1313 | " | " | |
| | | | | 1421[2)] | | | | | 410 | 220 | |
| | | | | 1422 | | | | | " | " | |
| | | | | 1423 | | | | | " | " | |
| | | | | 1424 | | | | | " | " | |
| St 44N | SIS 1410 | 1410 | 1410 | 1410 | 1410 | | | | 430 | 250 | Armeringsstång |
| St 44S | SIS 1411 | 1411 | 1411 | 1411 | 1411 | 1411 | 1411 | 1411 | " | " | |
| | | | | | | | 1412 | 1412 | " | " | |
| | | | | | | | 1413 | 1413 | " | " | |
| | | | | | | | 1414 | 1414 | " | " | |
| St 48S[4)] | SIS 2110 | 2110 | 2110[3)] | | | | | | 470 | 270 | |
| | | | | 2172 | 2172 | 2172 | 2172 | 2172 | 490 | 290 | |
| | | | | 2173 | 2173 | 2173 | 2173 | 2173 | " | " | |
| | | | | 2174 | 2174 | 2174 | 2174 | 2174 | " | " | |
| St 52S[4)] | SIS 2114 | 2114 | 2114[3)] | | | | | | 510 | 310 | |
| St 52N[4)] | SIS 1510 | 1510 | 1510 | 1510 | 1510 | 1510 | | | " | " | |
| | | | | | | | | 2132-2135 | " | 350 | |
| | | | | | | | | 2142-2145 | 530 | 390 | |

N = Normalstål S = Svetsbart stål
1) Stål 1310 och 1311 slogs samman till det nya stålet 1311 med annan analys än 1954 års 1311
2) Stålen 1421-1424 infördes detta år men rönte ingen framgång och togs bort 1964
3) Stål 2110 och 2114 slogs samman till stål 2172
4) Ej standardiserat stål

*Figur 3.8 Standardiserade stålsorter mellan 1937 och 1971 (26).*

SS-stål karakteriseras av en hållfasthetsklass och en kvalitetsklass. Svetsbara stål delas in i kvalitetsklasser baserade på rekommendationer från IIW/IIS-22-59 från 1959 där klass A till D definieras, se tabellen nedan. En högre klass E tillkommer senare med krav på seghetsprovning vid -40°C.

*Tabell 3.9 Definition av kvalitetsklasser (27)*

| Kvalitet | Användningsområde | Seghetskrav |
|---|---|---|
| A | Uppfyller endast moderata krav och erbjuder viss säkerhet mot sprickor och porer i svetsgodset | - |
| B | Används i konstruktioner med moderat grovlek som utsätts för normala belastningar. Bör endast användas i fall där sprödbrott inte befaras. | - |
| C | Används i konstruktioner där sprödbrottsrisken beaktas. Erbjuder viss säkerhet mot sprödbrott. | Slagprovning vid 0°C (minst 27J) |
| D | Används i konstruktioner där sprödbrottsrisken beaktas. Erbjuder stor säkerhet mot sprödbrott. | Slagprovning vid -20°C (minst 27J) |

Tabellen nedan visar hållfasthets- och kvalitetsklasser för SS-stål från 1971.

*Tabell 3.10 Hållfasthet och kvalitet för allmänna konstruktionsstål enligt MNC 810 (utgåva 8, 1971-06-30) (27)*

| Hållfasthetsklass | | Kvalitetsklass | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_m$ [MPa] | $R_{el}$ [MPa]* | - | A | B | C | D | E |
| 310-490 | - | 13 00 | | | | | |
| 360-440 | 215-235 | | 13 11 | 13 12 | 13 13 | | |
| 430-510 | 255-275 | | 14 11 | 14 12 | 14 13 | 14 14 | |
| 490-590 | 310-330 | | | 21 72 | 21 73 | 21 74 | |
| 510- | 350- | | | 21 32 | 21 33 | 21 34 | 21 35 |
| 530- | 390- | | | 21 42 | 21 43 | 21 44 | 21 45 |

*Sträckgränsen har räknats om från kp/mm$^2$ och avrundat till närmast 5 MPa. Notera att värden gäller i den lägre tjockleksintervallen, dvs 40 respektive 16 mm, och tjockare gods medför något lägre sträckgräns.

SBI:s publikation 30:1 (28) ger mer information om praktisk användning av konstruktionsstål år 1974. Stål av kvalitet A och B används normalt för svetsade inomhuskonstruktioner i konstruktionsklass 1. För utomhuskonstruktioner liksom för konstruktionsklass 2 används stål av kvalitet B, C eller D. Stålkvalitet E används för speciella lågtemperaturtillämpningar och svåra påfrestningar.

Varmvalsade produkter som lagerhålls anges i tabellen nedan. Stål av C- och D-kvalitet samt profilstång i hållfasthetsklass högre än 14-serien måste normalt beställas direkt från verk.

*Tabell 3.11 Lagerhållna produkter år 1974, enligt (28).*

| Formvara | Material |
|---|---|
| HEA, IPE | 1311, 1411 |
| HEB, I och U | 1311 |
| Fyrkantrör | 1412 (eventuellt 2173) |

Ett färgsystem används för märkning av stålprodukter, se tabell nedan.

*Tabell 3.12 Märkning av allmänna konstruktionsstål år 1974, enligt (28).*

| Beteckning | Märkning |
|---|---|
| 1300 | Omärkt |
| 1311 | Gul |
| 1312 | Gul 2 streck |
| 1411 | Blå |
| 1412 | Blå 2 streck |
| 2172 | Svart |
| 2132 | Orange |

På 1990-talet introduceras europastandarder som ersätter de svenska normerna. Beteckningssystemet beskrivs i SS-EN 10027-1. Konstruktionsstål anges med bokstaven S följd av minimikrav på sträckgräns i lägsta tjockleksintervall (i MPa), tex S355. Kvalitet beskrivs med en kombination av bokstav och siffra som anger slagseghet (Charpy-V i J) och provningstemperatur enligt tabellen nedan, tex J2 för minst 27 J vid -20 °C.

*Tabell 3.13 Beteckning av slagseghet enligt SS-EN 10027.*

| ”Bokstav” | Slagseghet |
|---|---|
| J | 27 J |
| K | 40 J |
| L | 60 J |

+

| ”Siffra” | Provningstemperatur |
|---|---|
| R | +20 °C |
| 0 | 0 °C |
| 2 | -20 °C |
| 4 | -40 °C |

Sist används tilläggstecken för att beskriva leveranstillstånd.

*Tabell 3.14 Tilläggstecken för leveranstillstånd enligt SS-EN 10027.*

| | |
|---|---|
| E = anlöpt | N = normaliserat |
| G1 = otätat | O = offshore |
| G2 = tätat/halvtätat | Q = seghärdat |
| G3 = enligt tillverkarens val | S = skepp |
| G4 = enligt tillverkarens val | W = väderbeständigt |
| M = termomekaniskt | |

*Tabell 3.15 Europastandarder för konstruktionsstål sedan 1990.*

| Europastandarder som införs på 1990-talet | | | Gällande standarder | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Titel | Beteckning | Fastställd | Titel | Beteckning | Fastställd |
| Varmvalsade formvaror av olegerat allmänt konstruktionsstål och maskinstål | SS-EN 10025-1 | 1994-20-25 | Varmvalsade konstruktionsstål | SS-EN 10025-1 (allmänt) SS-EN 10025-2 (olegerade) | 2004-12-03 |
| Varmvalsade produkter av svetsbara finkornstål | SS-EN 10113-1 (allmänt) | 1993-08-31 | | | |
| | SS-EN 10113-1 T1 (tillägg) | 1994-08-26 | | | |
| | SS-EN 10113-2 (normaliserade) | 1994-08-26 | Varmvalsade konstruktionsstål | SS-EN 10025-3 (normaliserade) | 2004-12-03 |
| | SS-EN 10113-3 (termomekaniskt valsade) | 1993-08-31 | Varmvalsade konstruktionsstål | SS-EN 10025-4 (termomekaniskt valsade) | |
| Plåt och breddplattstång av höghållfast konstruktionsstål i seghärdat eller utskiljningshärdat tillstånd | SS-EN 10137-1 (allmänt) | 1996-03-15 | | | |
| | SS-EN 10137-2 (seghärdat) | | Varmvalsade konstruktionsstål | SS-EN 10025-6 (seghärdat) | 2004-12-03 2009-05-25 |
| | SS-EN 10137-3 (utskiljningshärdat) | | | | |
| Konstruktionsstål med förbättrat motstånd mot atmosfärisk korrosion | SS-EN 10155 | 1994-01-14 | Varmvalsade konstruktionsstål | SS-EN 10025-5 (väderbeständigt) | 2004-12-03 |
| Varmvalsade platta produkter av höghållfast kallformningsstål | SS-EN 10149-1 (allmänt) | 1996-03-15 | Varmvalsade platta produkter av höghållfast kallformningsstål | SS-EN 10149-1 (allmänt) | 2013-09-30 |
| | SS-EN 10149-2 (termomekaniskt valsade) | | | SS-EN 10149-2 (termomekaniskt valsade) | |
| | SS-EN 10149-3 (valsade) | | | SS-EN 10149-3 (valsade) | |
| Varmbearbetade konstruktionsrör av olegerat stål och finkornstål | SS-EN 10210-1 | 1994-08-26 | Varmformade eller värmebehandlade konstruktionsrör av olegerat stål och finkornstål | SS-EN 10210-1 | 2006-04-28 |
| Kallformade svetsade konstruktionsrör av olegerat stål och finkornstål | SS-EN 10219-1 | 1998-02-20 | Kallformade svetsade konstruktionsrör av olegerat stål och finkornstål | SS-EN 10219-1 | 2006-04-28 |

### 3.3.3 Jämförelse

Stål har tre huvudegenskaper som varierar mycket och ska ingå i jämförelser mellan stålsorter:

- Hållfasthet;
- Seghet, och;
- Kemisk sammansättning.

Oftast är hållfasthetsvärden, dvs sträck- och/eller brottgräns, avgörande vid dimensionering och de flesta jämförelser och ekvivalenstabeller bygger på dessa egenskaper.

För en given hållfasthet kan dock två stålsorter ha olika beteende vid lägre temperaturer och uppvisa olika brottmoder. Slagseghet är en god indikator på detta och ska beaktas.

Vidare påverkas svetsbarheten av olika legeringshalter och den kemiska sammansättningen ska beaktas i svetsade konstruktioner. Ofta kan bedömningen av svetsbarheten baseras på kolekvivalenten.

Andra egenskaper så som elasticitets- och skjuvmodul kan antas vara konstanter.

Även äldre stålsorter (från och med 1937) uppfyller dagens krav på minsta brottförlängning.

#### *3.3.3.1 Hållfasthet*

Att jämföra hållfasthetsvärden mellan stålsorter kan vara svårare än det verkar vid en första anblick.

I gamla SS-standarder anges minsta undre och övre sträckgräns, $\sigma_{su}$ respektive $\sigma_{sö}$, samt minsta brottgräns, $\sigma_B$. enligt provningsstandarden SIS 11 21 10. I Europastandarder däremot anges minsta övre sträckgräns, $R_{eH}$ och ett spann för minsta brottgränsen, $R_B$. Användning av olika enheter så som kp/mm$^2$ försvårar ytterligare då avrundningar leder till olika värden i olika publikationer. Krav på minsta sträckgräns varierar också med godstjocklek i olika intervaller.

Figur 3.8 visar en jämförelse av äldre stålsorter enligt Janing (26). Värdena som anges stämmer inte överens med MNC handbok (27). Det kan inte antas att kraven på hållfasthet är exakt de samma mellan standarder som utvecklats genom åren och anpassats efter nya tillverkningsprocesser. Däremot ligger äldre krav tillräckligt nära dem som ställs i de nyare standarderna för att sannolikheten ska vara stor att äldre stålsorter även uppfyller dagens krav för ”nästan ekvivalent” stål.

*Tabell 3.16 ”nästan ekvivalenta” stålsorter utifrån hållfasthetskriterier*

| Tom 1946 | 1946 - 1990 | From 1990 |
|---|---|---|
| St 37 | SS-131X | S235 |
| St 44 | SS-141X | S275 |
| St 52 | SS-213X, SS-214X, SS-217X | S355 |

Trafikverket förvaltar broar byggda av äldre stål och har ett behov att kunna bestämma deras bärighet. Istället för att definiera ekvivalenter till aktuella stålsorter och använda dagens hållfasthetsvärde anges i TDOK 2013:0267 (29), avsnitt 1.3.4, egna karakteristiska hållfasthetsvärden som ska användas vid bärighetsberäkningar.

Tabell 3.17 visar dessa värden för SS-stål. De gäller för broar byggda efter 1919 och ska användas med samma partialkoefficient $\gamma_m$ = 1,0 som för aktuella stålsorter. Stålsorter äldre än 1946 jämställs med SS-stål enligt:

St 37 -> SS-1311

St 44 -> SS-1412
St 48S -> SS-2110
St 52 -> SS-2114

*Tabell 3.17 Karakteristiska hållfasthetsvärden för SS-stål enligt TDOK 2013:0267*

| Kvalitetsklass SS-stål | | | | | | Godstjocklek (mm) | | Karakteristisk hållfasthet $f_{yk}$ (MPa) | $f_{uk}$ (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1232 | | | | | | -100 | 200 | 310 |
| 1300 | | | | | | | -100 | 170 | 290 |
| 1310 | 1311 | 1312 | 1313 | | | | -40 | 240 | 360 |
| | | | | | | (40) | -100 | 230 | 360 |
| | 1421 | 1422 | 1423 | 1424 | | | -40 | 220 | 410 |
| | | | | | | (40) | -100 | 210 | 410 |
| | 1411 | 1412 | 1413 | 1414 | | | -40 | 270 | 430 |
| | | | | | | (40) | -100 | 260 | 430 |
| 2110 | | | | | | | -40 | 270 | 470 |
| | | | | | | (40) | -100 | 260 | 470 |
| | 2171 | 2172 | 2173 | 2174 | | | -16 | 320 | 470 |
| | | | | | | (16) | -40 | 310 | 470 |
| | | | | | | (40) | -100 | 300 | 470 |
| 1510 | | | | 2114 | | | -16 | 310 | 510 |
| | | | | | | (16) | -40 | 300 | 510 |
| | | | | | | (40) | -100 | 290 | 510 |
| | | 2132 | 2133 | 2134 | 2135 | | -16 | 360 | 470 |
| | | | | | | (16) | -35 | 350 | 470 |
| | | | | | | (35) | -50 | 340 | 470 |
| | | | | | | (50) | -70 | 330 | 470 |
| | | 2142 | 2143 | 2144 | 2145 | | -16 | 390 | 490 |
| | | | | | | (16) | -35 | 380 | 490 |
| | | | | | | (35) | -50 | 370 | 490 |
| | | | | | | (50) | -100 | 360 | 490 |
| | | | | 2614 | 2615 | 6 | -50 | 500 | 610 |
| | | | | | | (50) | -70 | 480 | 610 |
| | | | | 2624 | 2625 | 6 | -50 | 690 | 770 |
| | | | | | | (50) | -70 | 670 | 770 |
| | | 2632 | | 2634 | | 1,6 | -16 | 280 | 350 |
| | | 2642 | | 2644 | | 1,6 | -16 | 350 | 420 |
| | | 2652 | | 2654 | | 1,6 | -16 | 420 | 480 |
| | | 2662 | | 2664 | | 1,6 | -16 | 490 | 550 |

#### 3.3.3.2 Seghet

Äldre stål delas in i kvalitetsklasser enligt rekommendationer från IIW/IIS-22-59 som delvis baseras på slagseghetsprovning för de övre klasserna medan aktuella seghetsklasser baseras helt på seghetsprovning och indelningen sker efter provningstemperatur. En jämförelse mellan kvalitets- och seghetsklasser visas i tabellen nedan.

*Tabell 3.18 Jämförelse mellan kvalitetsklass för SS-stål och seghetsklass för EN-stål*

| Temperatur vid seghetsprovning | Ingen provning | | | 20°C | 0°C | -20°C | -30°C | -40°C | -50°C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kvalitetsklass | - | A | B | | C | D | | E | |
| SS-stål | XXX0 | XXX1 | XXX2 | | XXX3 | XXX4 | | XXX5 | |
| EN-stål | | | | JR | J0 | J2 | K2 | N, M | NL, ML |

#### 3.3.3.3 Kemisk sammansättning

Tabell 3.19 nedan anger gränsvärden för kemisk sammansättning av SS-stål från 1974. Värden i kursivt är inte bindande.

Samma legeringsämnen regleras för olegerade EN-stål enligt SS-EN 10025-2, se tabell 3.20. Max värden är dock olika.

Sammansättningen hos dagens normaliserade och termomekaniskt valsade stål är mer reglerad och fler ämnen behöver kontrolleras, se tabell 3.21 respektive tabell 3.22.

Att jämföra så många legeringshalter var för sig är meningslöst då det är ytterst svårt att dra slutsatser om legeringarnas samspel och utslag på svetsbarhet och seghet. En mer intressant indikator är kolekvivalenten.

I äldre standarder beräknas kolekvivalenten enligt:

$$E_C = C + \frac{Mn}{10} \leq 0{,}32\ \%$$

För finkornstålen med förhöjd brottgräns (SS-213X och SS-214X) gäller en annan formel som även tillämpas för aktuella stålsorter:

$$E_C = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni+Cu}{15} + \frac{Cr+Mo+V}{5}$$

Största kolekvivalenten för dessa stål är jämförbar med den för varmvalsade stål enligt SS-EN 10025-2.

*Tabell 3.19 Kemisk sammansättning för SS-stål enligt (27)*

| Beteckning | | C % | | Si % | | Mn % | | P % | S % | N % | Cu % | Cr % | $E_C$ % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | max | ca | max | ca | max | ca | max | max | max | max | max | max |
| 1311 | tätat | | *0,12* | | *0,25* | | *0,4-0,7* | 0,08 | 0,06 | | | | |
| | halvtätat | | *0,12* | | *0,05* | | *0,4-0,7* | | | | | | |
| | otätat | | *0,15* | | *0,02* | | *0,3-0,6* | | | | | | |
| 1312 | tätat | 0,20 | *0,12* | | *0,25* | | *0,4-0,7* | 0,06 | 0,05 | 0,009 | | | |
| | halvtätat | | | | *0,05* | | | | | | | | |
| 1313 | tätat | 0,20 | *0,1* | | *0,25* | | *0,5-0,8* | 0,06 | 0,05 | 0,009 | | | |
| | halvtätat | | *0,12* | | *0,05* | | | | | | | | |
| 1411 | tätat | | *0,15* | | *0,25* | | *0,4-1,0* | 0,08 | 0,06 | | | | |
| | halvtätat | | *0,15* | | *0,05* | | *0,5-1,1* | | | | | | |
| | otätat | | *0,2* | | *0,02* | | *0,3-0,6* | | | | | | |
| 1412 | tätat | 0,20 | *0,15* | | *0,25* | | *0,4-1,0* | 0,05 | 0,05 | 0,009 | 0,4 | 0,3 | |
| | halvtätat | | | | *0,05* | | *0,5-1,1* | | | | | | |
| 1413 | tätat | 0,18 | *0,12* | | *0,25* | | *0,8-1,4* | 0,05 | 0,05 | 0,009 | 0,4 | 0,3 | |
| | halvtätat | | | | *0,05* | | | | | | | | |
| 1414 | tätat | 0,18 | *0,12* | | *0,25* | | *0,8-1,4* | 0,04 | 0,04 | 0,009 | 0,4 | 0,3 | |
| | halvtätat | | | | *0,05* | | | | | | | | |
| 2132 | tätat | 0,20 | *0,14* | 0,5 | *0,35* | 1,6 | | 0,035 | 0,035 | 0,02 | | | 0,41 |
| 2134 | tätat | 0,20 | *0,14* | 0,5 | *0,35* | 1,6 | | 0,035 | 0,035 | 0,02 | | | 0,41 |
| 2135 | tätat | 0,20 | *0,14* | 0,5 | *0,35* | 1,6 | | 0,035 | 0,035 | 0,02 | | | 0,41 |
| 2142 | tätat | 0,20 | *0,16* | 0,5 | *0,35* | 1,8 | | 0,035 | 0,035 | 0,02 | | | 0,45 |
| 2144 | tätat | 0,20 | *0,16* | 0,5 | *0,35* | 1,8 | | 0,035 | 0,035 | 0,02 | | | 0,45 |
| 2145 | tätat | 0,20 | *0,16* | 0,5 | *0,35* | 1,8 | | 0,035 | 0,035 | 0,02 | | | 0,45 |
| 2172 | tätat | 0,20 | *0,18* | 0,5 | *0,30* | | *1,0-1,6* | 0,05 | 0,05 | 0,009 | 0,4 | 0,3 | |
| | halvtätat | | | | *0,05* | | | | | | | | |
| 2173 | tätat | 0,18 | *0,14* | 0,5 | *0,35* | 1,4 | | 0,05 | 0,05 | 0,009 | 0,4 | 0,3 | |
| | halvtätat | | | | *0,05* | | | | | | | | |
| 2174 | tätat | 0,18 | *0,14* | 0,5 | *0,35* | 1,4 | | 0,04 | 0,04 | 0,009 | 0,3 | 0,2 | |
| | halvtätat | | | | *0,05* | | | | | | | | |

*Tabell 3.20 Krav på kemisk sammansättning vid produktanalys för olegerade EN-stål enligt SS-EN 10025-2*

| Beteckning | C % max | Si % max | Mn % min | Mn % max | P % max | S % max | N % max | Cu % max | Nb % max | V % max | Ti % max | Cr % max | Ni % max | Mo % max | Al % max | CEV % max |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S235JR | 0,19 | - | - | 1,50 | 0,045 | 0,045 | 0,014 | 0,60 | - | - | - | - | - | - | - | 0,35 |
| S235J0 | 0,19 | - | - | 1,50 | 0,040 | 0,040 | 0,014 | 0,60 | - | - | - | - | - | - | - | 0,35 |
| S235J2 | 0,19 | - | - | 1,50 | 0,035 | 0,035 | - | 0,60 | - | - | - | - | - | - | - | 0,35 |
| S275JR | 0,24 | - | - | 1,60 | 0,045 | 0,045 | 0,014 | 0,60 | - | - | - | - | - | - | - | 0,40 |
| S275J0 | 0,21 | - | - | 1,60 | 0,040 | 0,040 | 0,014 | 0,60 | - | - | - | - | - | - | - | 0,40 |
| S275J2 | 0,21 | - | - | 1,60 | 0,035 | 0,035 | - | 0,60 | - | - | - | - | - | - | - | 0,40 |
| S355JR | 0,27 | 0,60 | - | 1,70 | 0,045 | 0,045 | 0,014 | 0,60 | - | - | - | - | - | - | - | 0,45 |
| S355J0 | 0,23 | 0,60 | - | 1,70 | 0,040 | 0,040 | 0,014 | 0,60 | - | - | - | - | - | - | - | 0,45 |
| S355J2 | 0,23 | 0,60 | - | 1,70 | 0,035 | 0,035 | - | 0,60 | - | - | - | - | - | - | - | 0,45 |
| S355K2 | 0,23 | 0,60 | - | 1,70 | 0,035 | 0,035 | - | 0,60 | - | - | - | - | - | - | - | 0,45 |
| S450J0 | 0,23 | 0,60 | - | 1,80 | 0,040 | 0,040 | 0,027 | 0,60 | - | - | - | - | - | - | - | 0,47 |

*Tabell 3.21 Krav på kemisk sammansättning vid produktanalys för normaliserade EN-stål enligt SS-EN 10025-3*

| Beteckning | C % max | Si % max | Mn % min | Mn % max | P % max | S % max | N % max | Cu % max | Nb % max | V % max | Ti % max | Cr % max | Ni % max | Mo % max | Al % max | CEV % max |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S275N | 0,20 | 0,45 | 0,45 | 1,60 | 0,035 | 0,030 | 0,017 | 0,60 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,35 | 0,35 | 0,13 | 0,015 | 0,40 |
| S275NL | 0,18 | 0,45 | 0,45 | 1,60 | 0,030 | 0,025 | 0,017 | 0,60 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,35 | 0,35 | 0,13 | 0,015 | 0,40 |
| S355N | 0,22 | 0,55 | 0,85 | 1,75 | 0,035 | 0,030 | 0,017 | 0,60 | 0,06 | 0,14 | 0,06 | 0,35 | 0,55 | 0,13 | 0,015 | 0,43 |
| S355NL | 0,20 | 0,55 | 0,85 | 1,75 | 0,030 | 0,025 | 0,017 | 0,60 | 0,06 | 0,14 | 0,06 | 0,35 | 0,55 | 0,13 | 0,015 | 0,43 |
| S420N | 0,22 | 0,65 | 0,95 | 1,80 | 0,035 | 0,030 | 0,027 | 0,60 | 0,06 | 0,22 | 0,06 | 0,35 | 0,85 | 0,13 | 0,015 | 0,48 |
| S420NL | 0,22 | 0,65 | 0,95 | 1,80 | 0,030 | 0,025 | 0,027 | 0,60 | 0,06 | 0,22 | 0,06 | 0,35 | 0,85 | 0,13 | 0,015 | 0,48 |
| S460N | 0,22 | 0,65 | 0,95 | 1,80 | 0,035 | 0,030 | 0,027 | 0,60 | 0,06 | 0,22 | 0,06 | 0,35 | 0,85 | 0,13 | 0,015 | 0,53 |
| S460NL | 0,22 | 0,65 | 0,95 | 1,80 | 0,030 | 0,025 | 0,027 | 0,60 | 0,06 | 0,22 | 0,06 | 0,35 | 0,85 | 0,13 | 0,015 | 0,53 |

*Tabell 3.22 Krav på kemisk sammansättning vid produktanalys för termomekaniskt valsade EN-stål enligt SS-EN 10025-4*

| Beteckning | C % max | Si % max | Mn % min | Mn % max | P % max | S % max | N % max | Cu % max | Nb % max | V % max | Ti % max | Cr % max | Ni % max | Mo % max | Al % max | CEV % max |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S275M | 0,15 | 0,55 | - | 1,60 | 0,035 | 0,030 | 0,017 | 0,60 | 0,06 | 0,1 | 0,06 | 0,35 | 0,35 | 0,13 | 0,015 | 0,34 |
| S275ML | 0,15 | 0,55 | - | 1,60 | 0,030 | 0,025 | 0,017 | 0,60 | 0,06 | 0,1 | 0,06 | 0,35 | 0,35 | 0,13 | 0,015 | 0,34 |
| S355M | 0,16 | 0,55 | - | 1,70 | 0,035 | 0,030 | 0,017 | 0,60 | 0,06 | 0,12 | 0,06 | 0,35 | 0,55 | 0,13 | 0,015 | 0,39 |
| S355ML | 0,16 | 0,55 | - | 1,70 | 0,030 | 0,025 | 0,017 | 0,60 | 0,06 | 0,12 | 0,06 | 0,35 | 0,55 | 0,13 | 0,015 | 0,39 |
| S420M | 0,18 | 0,55 | - | 1,80 | 0,035 | 0,030 | 0,027 | 0,60 | 0,06 | 0,14 | 0,06 | 0,35 | 0,85 | 0,23 | 0,015 | 0,43 |
| S420ML | 0,18 | 0,55 | - | 1,80 | 0,030 | 0,025 | 0,027 | 0,60 | 0,06 | 0,14 | 0,06 | 0,35 | 0,85 | 0,23 | 0,015 | 0,43 |
| S460M | 0,18 | 0,65 | - | 1,80 | 0,035 | 0,030 | 0,027 | 0,60 | 0,06 | 0,14 | 0,06 | 0,35 | 0,85 | 0,23 | 0,015 | 0,45 |
| S460ML | 0,18 | 0,65 | - | 1,80 | 0,030 | 0,025 | 0,027 | 0,60 | 0,06 | 0,14 | 0,06 | 0,35 | 0,85 | 0,23 | 0,015 | 0,45 |

#### *3.3.3.4 Databaser*

Information om krav gällande legeringshalter (oftast max värden) för standardiserade stålsorter finns samlad i kommersiella databaser. Nedan beskrivs två sådana.

Total Materia (www.totalmateria.com)

Total Materia är enligt egen utsago världens mest omfattande materialdatabas. Den innehåller information om kemisk sammansättning och mekaniska egenskaper för allmänna konstruktionsstål.

Deras verktyg SmartComp kan identifiera möjliga stålsorter utifrån angiven kemisk sammansättning. Denna tjänst används av bla Spectro och Thermo Fisher Scientific i deras portabla spektrometer.

Databasen innehåller bla Svenska och Europeiska standarder. Ändringar i EN-standarder är spårbara. Däremot ges ingen information om SS-standarders utgåva.

SIS materialnyckeln 3.0

Databasen innehåller stålstandarder från 1990 och framåt och möjliggör jämförelse av mekaniska egenskaper och kemisk sammansättning. Det finns en sökfunktion efter specifika egenskaper.

Tyvärr ingår endast sista versionen av SS-standarder (utgåva 11 från 1990-09-12).

# 4 Att återanvända stål

## 4.1 Regelverk

Regelverket för stålbyggnad med nya produkter beskrivs utförligt i kapitel 0. Här diskuteras hur återanvänt stål kan hanteras inom detta regelverk vad gäller dimensionering samt utförande och kontroll.

### 4.1.1 Dimensionering

Vid dimensionering är det viktigt att materialet uppfyller kraven som förutsatts vid utveckling av beräkningsmodeller och att väsentliga egenskaper är kända.

SS-EN 1993-1-1 och Boverkets EKS reglerar vilka stålsorter som får användas. Med avseende på möjligheterna att använda återanvänt stål finns det en brist i det nationella valet till stycke 3.1(2) i SS-EN 1993-1-1:2005 eftersom det är formulerat så att den naturliga tolkningen blir att det endast är stål enligt tabell 3.4 som får användas utöver de stålsorter som anges i SS-EN 1993. Här skulle man kunna formulera om texten i linje med det nya stycket 5.1(3)P i prEN 1993-1-1:2018 så att EKS öppnar upp även för användning av andra stål under förutsättning att vissa väsentliga egenskaper är kända.

Beträffande de egenskaper som kan vara aktuella i samband med återanvändning av stål anges i SS-EN 1993-1-1:2005, 2.3 Grundläggande variabler, att materialegenskaper för stål och andra produkter samt de geometriska data som används för dimensionering bör vara de som specificeras i relevanta ENs, ETAGs eller ETAs, om inte annat anges i denna standard (2.3.2 (1)).

I 2.4.1(1)P (”P” står för ”Princip”, alltså motsvarande en föreskrift i t ex EKS) anges att karakteristiska värden $X_k$ eller nominella värden $X_n$ för materialegenskaper vid dimensionering av bärverk i stål ska användas som de är givna i SS-EN 1993-1-1:2005.

Angående dimensioneringsvärden för geometriska data anges i 2.4.2(1) att geometrisk data för tvärsnitt och system kan hämtas från olika produktstandarder hEN eller tillverkningsritningar enligt EN 1090 och behandlas som nominella värden.

Ovanstående principer och råd har lämnats i princip oförändrade i den reviderade versionen prEN 1993-1-1:2018 och kan tolkas som att de krav på materialegenskaper som anges i EN 1993-1-1 ska följas, men beträffande geometriska data ges en öppning att föreskriva alternativa värden i tillverkningsritningar för ett specifikt projekt. För återanvändning av stål kan det senare ha viss betydelse då det är möjligt att t ex äldre valsade profiler kan ha andra tvärsnittsmått än enligt nu gällande produktstandarder.

### 4.1.2 Utförande och kontroll

Utförande och kontroll av stålkonstruktioner är starkt beroende av produkter med certifierade egenskaper. I EKS avd A 18 § ställs krav på byggprodukter med bedömda egenskaper vilket efter vidare analys likställs med CE-märkning.

Återanvända produkter kan inte certifieras på samma sätt som nya men kraven på kända, lämpliga och dokumenterade egenskaper i 17 § kan ändå uppfyllas. 26 § i Avd A tolkas som att det krävs verifiering av materialegenskaperna genom provning eller ”annan inom europeiska unionen vedertagen metod” för att bärande komponenter av återanvänt stål ska kunna godkännas vid mottagningskontrollen.

SS-EN 1090-2 ställer en hel del krav på de ingående produkterna, men samtidigt ges det öppningar för användning av återanvänt stål genom att det i avsnitt 5.1 anges vilka egenskaper som (i tillämpliga fall) ska deklareras (föreskrivas) om icke-standardiserade produkter används.

Sammanfattningsvis kan CE-märkning ersättas av kontrollintyg där viktiga egenskaper dokumenteras med specifika provningsresultat.

Även om AMA-systemet inte tillhör det ”myndighetsägda regelverket” har även AMA (Allmän material och arbetsbeskrivning) som utges av svensk Byggtjänst stor betydelse för byggandet i Sverige eftersom det sedan den första Bygg AMA utkom 1950 använts som ett referensverk av avtalsparterna vid upprättande av beskrivningar och utförande av byggnadsarbeten. Sedan den första Bygg AMA utkom har detta referensverk utvecklats i flera steg och för hussidan, som har valts att fokusera på i detta projekt, gäller idag AMA Hus 18 med tillhörande råd och anvisningar i RA Hus 18.

De delar av AMA och RA Hus 18 som är av intresse avseende återanvändning av stålkomponenter i bärande konstruktioner är kapitel GSM.1 och GSM.2, Konstruktioner av element av allmänt konstruktionsstål (GSM.1) respektive av rostfritt stål (GSM.2), samt HSB.1, Konstruktioner av längdformvaror av allmänt konstruktionsstål.

I samtliga dessa kapitel anges det i AMA Hus 18, under rubriken ”MATERIAL- OCH VARUKRAV – Återanvända konstruktionselement”, att element för utmattningsbelastade konstruktioner (driftklass SC2 enligt SS-EN 1090-2) inte får vara återanvända.

I RA Hus 18 förtydligas under motsvarande rubriker att element i ej utmattningsbelastade konstruktioner (driftklass SC1 enligt SS-EN 1090-2) får vara återanvända om stålmaterialet kan styrkas med ett tillämpligt intyg i enlighet med EKS 10 och SS-EN 1090-2 samt efter kontroll av att hållfasthet, stadga och beständighet uppfyller gällande krav. Texten i RA Hus 18 avslutas med rådet att man ska ange om återanvända element generellt inte godtas.

Texterna i AMA och RA Hus är avsedda att förtydliga när man inte ska använda återanvänt stål (utmattningsbelastade konstruktioner) samt vilken dokumentation som behövs och vilka kontroller som behöver göras om man avser att använda återanvänt stål.

Det har tyvärr visat sig att föreskrivande led istället ofta tar fasta på det avslutande rådet i RA Hus 18 och i förfrågningsunderlaget, t ex under rubriken GSM.1, anger att ”återanvända element godtas inte”. Detta var inte avsikten med dessa texter i AMA och RA Hus och de bör därför ses över och omformuleras så att de inte blir ett onödigt hinder för återanvändning av stål.

## 4.2 Incitament

Enligt fallstudier, se avsnitt 2.4, finns det två huvudanledningar att återanvända stålkomponenter idag: det kan vara billigare och miljöpåverkan är mindre.

### 4.2.1 Ekonomi

Det är mycket svårt att uppskatta kostnaderna för återbruk och studier ger motstridiga resultat, se 2.1.2. I vissa fall är återanvända produkter billigare och det finns ett direkt ekonomiskt incitament för återbruk. Men generellt kan operationer så som demontering, rekonditionering och provning medföra kostnader som överskrider prisskillnaden mellan nytt stål och skrot. Återanvänt stål blir då något dyrare. Det är dock sannolikt att dessa kostnader skulle sjunka om en återbruksmarknad med större volymer uppstod.

För att hålla kostnaderna nere behöver bla provningsomfattning hållas på en så låg nivå som möjligt.

En förnuftig strategi är att utveckla hjälpmedel för att bedöma återanvändbarheten ur ekonomisk synpunkt (vid prospektering) varvid ett beslut tas mellan återbruk eller återvinning. Först kommer de mest fördelaktiga objekten att återanvändas men med ökande erfarenhet och förbättringar kan fler och fler bli ekonomiskt fördelaktiga. I större skala kan framförallt provningskostnader minska drastiskt.

### 4.2.2 Miljö

Den största fördelen med återbruk är den låga miljöpåverkan som efterfrågas alltmer. Detta kan bli en konkurrensfördel och till och med berättiga något högre kostnader.

För att kunna dra nytta av denna fördel i kommersiella sammanhang med många aktörer är det dock viktigt att kunna kvantifiera och dokumentera miljöegenskaperna på ett tillförlitligt sätt.

Många miljöcertifieringssystem används i detta syfte. De viktigaste beskrivs med hänsyn till återbruk av stålkomponenter i Bilaga B.

I BREEAM behandlas t ex återvunnen ballast specifikt vilket ger ett starkt och tydligt incitament. En liknande lösning vore enkel för återanvänt stål men ett sådant förslag från Norge har tyvärr avslagits.

Det är därför viktigt att framhäva de indirekta fördelarna med återbruk av stålkomponenter och hitta sätt att utnyttja dessa inom befintliga system.

Trots att utfallet är något oklart påverkar återbruk följande kriterier positivt:

- ansvarsfull materialanskaffning;
- reducerade koldioxidutsläpp, och;
- innovativ design.

När det gäller ansvarsfull materialanskaffning använder BREEAM sk *Responsible Sourcing Certification Scheme* (RSCS) i sin bedömning. Certifierade produkter är cement och trävaror.

En konstruktions klimatpåverkan bedöms ofta med hjälp av en livscykelanalys (LCA) som kräver tillförlitlig indata. Mer och mer används och krävs miljövarudeklarationer (*Environmental Product Declaration* EPD). Det behöver undersökas hur miljövarudeklarationer kan tillämpas för återanvänt stål. Följande alternativ kan ingå:

- specifik deklaration för varje parti återanvända produkter;
- allmän deklaration för återanvänt konstruktionsstål, och;
- mindre påverkan av alla stålprodukter tack vare en viss andel återbruk.

### 4.2.3 Undersökning inför rivning (*Pre-demolition audit*)

Värdet hos inbyggda komponenter bör uppmärksammas mer så att demontering väljs framför rivning när detta är möjligt och befogat ur ekonomisk synpunkt.

Vid rivning krävs ofta en rivningsplan och materialinventering. Fokus ligger idag på avfallshantering och farligt material men rivningsplanen kan också bli ett effektivt styrmedel för utökat återbruk genom att föreskriva en undersökning med hänsyn till återanvändbara komponenter.

Enkla verktyg i form av t ex checklistor kan utvecklas för att bedöma återanvändbarheten och ge ett bättre beslutsunderlag för demontering och återanvändning eller mekanisk rivning och återvinning.

## 4.3 Återbruksmodeller

Generellt finns en motsättning mellan komplexitetsgrad hos en produkt och hur återanvändbar den är. En komplex produkt som återanvänds på plats har ett högt inneboende värde och miljönyttan är stor. Å andra sidan är dess återanvändningsområde litet på grund av mer nischad funktion. Efterfrågan blir därmed begränsad och marknadsvärdet blir sämre. Ekonomiska incitament motverkas av mindre effektiva byggprocesser och större osäkerhet.

Genom en högre grad av demontering förstörs en del av värdet (ökad entropi) men användningsområdet ökar och produkterna kan säljas på en större marknad. Det kommersiella värdet måste då fördelas mellan en mer omfattande återbruksprocess och en produktionsprocess som däremot inte behöver anpassas.

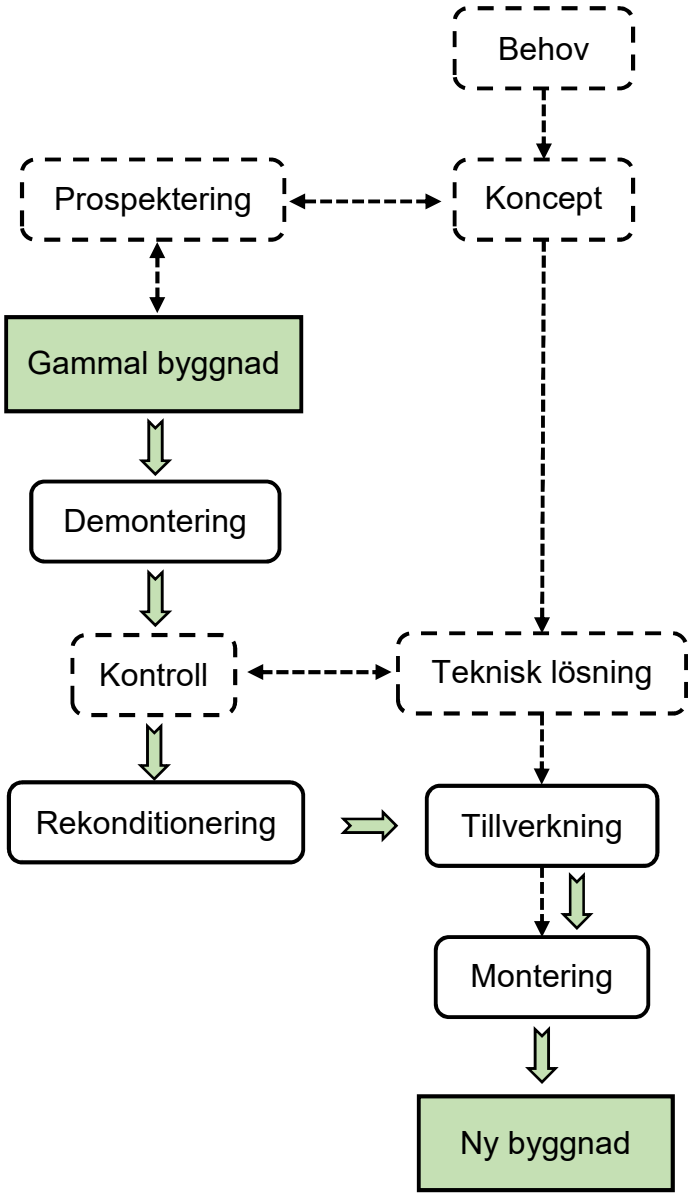
Dragen till sin spets har vi återvinning som tar tillvara grundfunktionen stålmaterial med ett mycket stort användningsområde.

I de följande kapitlen beskrivs tre olika återbruksmodeller med varierande komplexitetsgrader där återbruks- och byggprocess samverkar på olika sätt. Modellerna har egna för- och nackdelar och

kräver olika lösningar som kan vara grunden för nya affärsmodeller. Notera att beskrivningen fokuserar på funktioner. En enda aktör kan uppfylla flera av dessa och olika organisationsformer är tänkbara.

### 4.3.1 Bygga nytt utifrån gammal byggnad

I kontrast till den vanliga byggprocess med nya komponenter visar figur 4.1 processen för ett typiskt återbruksprojekt baserat på återanvändning av en befintlig byggnad på annan plats. Återanvändning är en del av konceptet från början och ett lämpligt objekt sökes (prospektering). Designprocessen är iterativ och kräver mer flexibilitet då den tekniska lösningen utarbetas utifrån tillgängliga komponenter. Den äldre konstruktionen demonteras och kontrolleras. Efter eventuell rekonditionering kan tillverkning och montering ske på vanligt sätt.




*Figur 4.1 Material- och informationsflöde i stålbyggnadsprocess helt baserad på återanvändning av en gammal byggnad.*

Denna typ av projekt ger största miljönytta genom att försöka behålla det mesta av värdet hos den gamla byggnaden. Normalt krävs dock både stort engagemang, flexibilitet och tur för att lyckas. Trots

att fallstudier visar på goda exempel är det svårt att generalisera och troligen kommer det att förbli en nischad företeelse.

Ett intressant undantag är dock hallbyggnader som utmärker sig genom relativt enkla konstruktioner som kan anpassas till ett stort antal användningsområde. Två företag i Storbritannien har som affärsidé att sälja begagnade hallbyggnader:

- **Ainscoughmetals** (Skelmersdale, Storbritannien): http://www.ainscoughmetals.co.uk/

  Ainscoughmetals är en stålleverantör i norra England som säljer återanvänt stål. De demonterar och säljer stommar utan förändring. På detta sätt utnyttjas en gråzon i regelverket då produkten redan befinner sig på marknaden. Det handlar mest om mindre och relativt nya konstruktioner, 15-20 år gamla med dokumenterade egenskaper. Dokumentationen anses tillförlitlig och förstörande provning undviks.

- **Portal Power** (Suffolk, Storbritannien): http://www.portal-power.co.uk/

  Portal Power Ltd är ett företag i östra England som projekterar och bygger hallar med stålramar. Över 40% av deras årliga omsättning består av återanvända stommar. Portal Power övervakar hela processen från demontering till montage på den nya platsen, inklusive eventuella ändringar. Demontering tar normalt 3-6 gånger längre tid än mekanisk rivning och är inte alltid möjlig.

  Efter demontering lagras stommen i väntan på en köpare. Portal Power kan modifiera byggnaden och på så sätt öka mervärdet. De undersöker möjligheten för blästring och ommålning. Stålet provas inte och merparten av byggnaderna är jordbruksbyggnader. Portal Power tillhandahåller konstruktionsritningar.

I dessa fall har en oberoende aktör löst prospekteringen och genom att lagra konstruktionerna allt efter möjligheter uppstår blir det enklare att anpassa tillgång och efterfrågan.

Det bör dock noteras att Storbritannien är annorlunda jämfört med Sverige på två punkter:

1. De flesta konstruktioner till hallbyggnader byggs med portalramar med enklare stabilisering vilket förenklar demontering något.
2. Snö- och vindlaster visar mindre variationer, åtminstone i England. I Sverige däremot finns stora skillnader i lastförutsättningar för olika orter vilket kräver lite mer försiktighet.

Trots detta är återanvändning av hallbyggnader en möjlighet som borde undersökas av svenska företag.

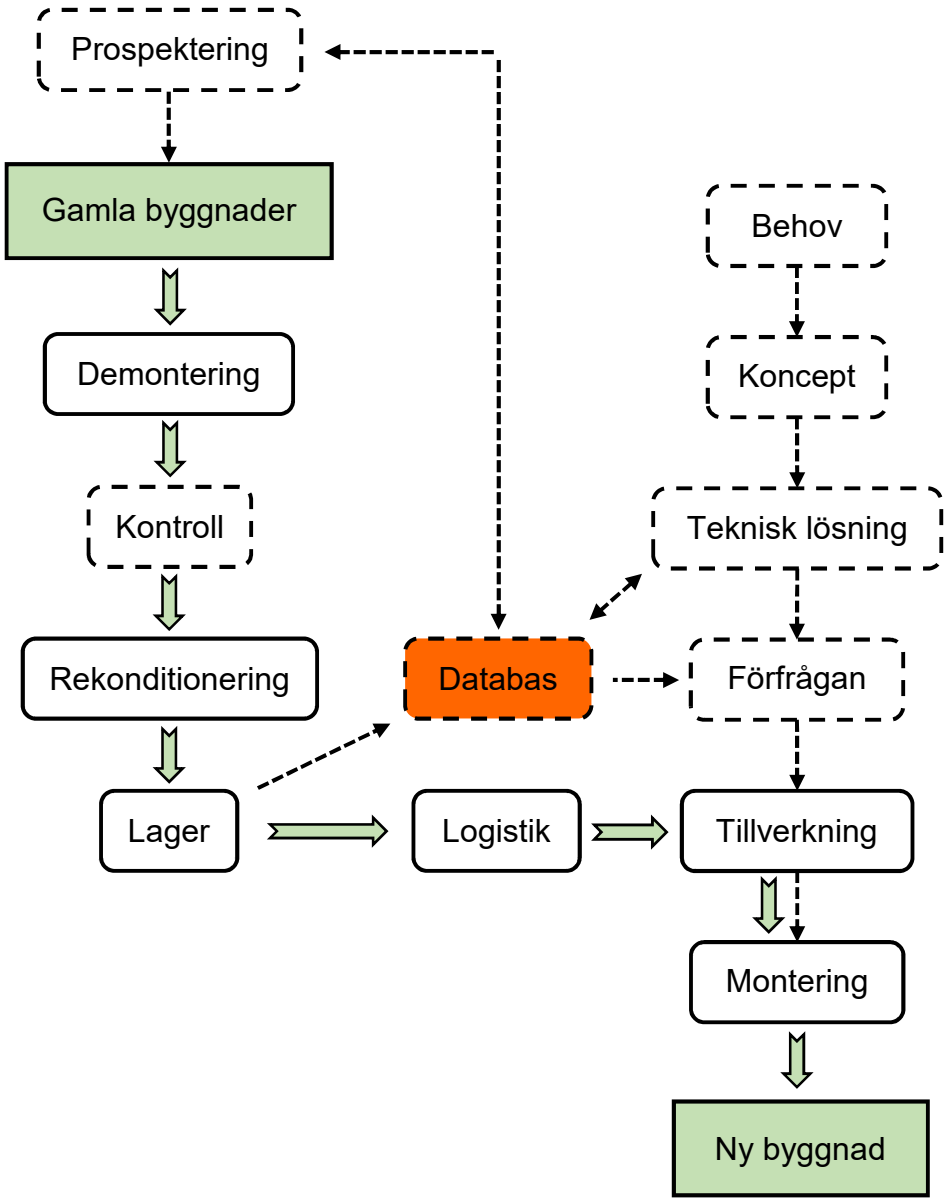
### 4.3.2 Bygga nytt med återanvända komponenter

Om en konstruktion inte kan återanvändas i sin befintliga konfiguration kan dess komponenter demonteras och återanvändas istället.

Prospektering kan frikopplas från enstaka projekt och en återbruksbransch skapas parallellt med den vanliga stålbranschen, se figur 4.2.

Prospektering ser till att återanvändbara produkter i gamla konstruktioner demonteras istället för att skrotas. Dessa kontrolleras och rekonditioneras om nödvändigt innan de lagras och senare levereras.

För att kunna konkurrera med nytillverkade produkter behöver tillgången på återanvända produkter säkerställas. Detta kräver antagligen stora lager eller ett effektivt informationssystem som kan koppla många decentraliserade lager och samordna logistiken.




*Figur 4.2 Material- och informationsflöde i stålbyggnadsprocess helt baserad på återanvändning av stålprodukter.*

Försäljning av återanvända stålprodukter är en affärsidé som tillämpas av James Dunkerley Steel i Storbritannien:

**James Dunkerley Steel** (JDS): https://www.dunkerley.co.uk/

JDS är en stålleverantör nära Manchester i Storbritannien. Uppemot 20% av deras lager är återanvänt stål och de säljer ca 3 000 t återanvända profiler om året. De är väl etablerade och kända i hela landet. En inköpare på heltid besöker rivningsplatser och offererar stålet. Inköpspriset är högre än skrotpriset för att täcka extra kostnader och tid för varsam demontering. Profilerna inspekteras sedan efter demontering och innan slutligt köp.

JDS provar inte stålet utan nedgraderar istället det till ”basic mild steel”. I snitt lagras profilerna ca 3-4 månader innan de säljs vidare men för vanliga dimensioner kan lagringstiden vara så kort som 1 vecka. Deras största kunder är byggföretag som använder stålet till tillfälliga konstruktioner.

I Sverige finns liknande alternativ för andra byggprodukter så som t ex belysning, dörrar eller VVS-produkter. Centrum för cirkulärt byggande (www.ccbuild.se) tillhandahåller instruktioner för demontering som ett sätt stimulera tillgång på återanvända produkter. Kompanjonen Norden AB och Brattöns Återbruk AB är två exempel på företag specialiserade på försäljning av återanvända byggprodukter.

Dessa aktörer har möjlighet att lagra återanvända produkter relativt länge och det handlar ofta om små volymer. Alla tre företag ovan har dessutom annan verksamhet, JDS säljer endast 20 % återanvänt stål.

Om efterfrågan på återanvänt stål ökar krävs troligen andra lösningar för att kunna täcka behovet mer effektivt. Ett koncept har utvecklats för hantering av bla fyllnadsmassor på ett decentraliserat sätt:

**Loop Rocks**

Loop Rocks är ett koncept lanserats av NCC för hantering av sten, jord och fyllnadsmassor. Tjänsten bygger på en kostnadsfri app (www.looprocks.se) där överskott och behov av massor kan annonseras gratis. Även transport kan upphandlas i appen. I maj 2018 hade tjänsten 11 500 användare i Sverige och hade lanserats i Danmark, Finland och Norge.

Notera att stålprodukter har en större variation av egenskaper jämfört med fyllnadsmassor vilket ger mer komplexa krav som kan vara svårare att uppfylla. Å andra sidan är hanteringen av stål enklare och decentraliserade lager kan ingå i en sådan lösning.

Nackdelen som återstår med en återanvändningsbransch parallellt med den konventionella stålbranschen är just att återanvänt stål inte likställs med nytt. Kunden måste aktivt välja mellan nya eller återanvända produkter. Vid val av återanvända produkter behöver egenskaperna troligen föreskrivas på ett mer specifikt sätt istället för en enklare anvisning till produktstandarder.

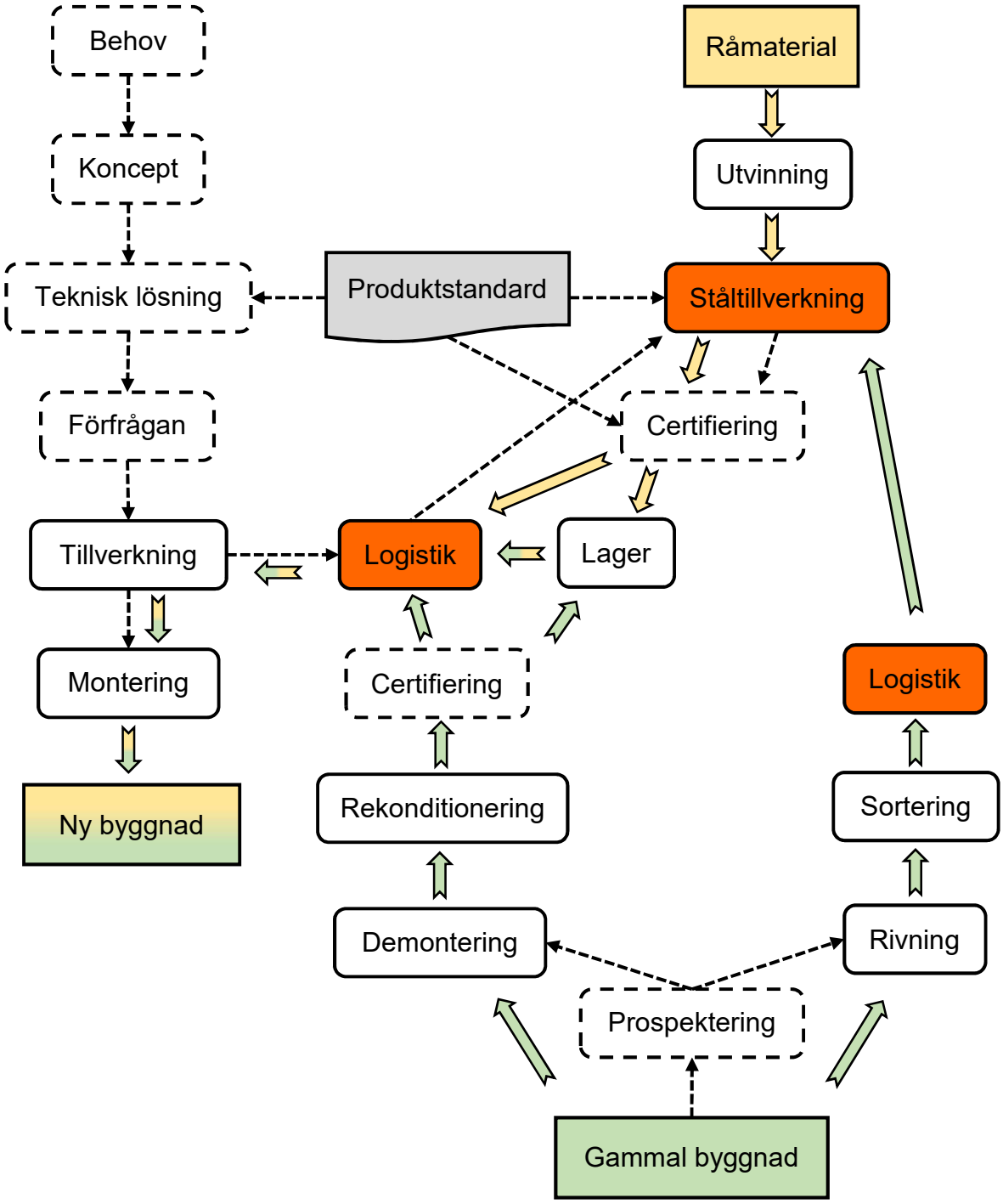
### 4.3.3 Integrerat återbruk

För att en återbruksmarknad ska uppstå behöver både tillgången och efterfrågan stimuleras samtidigt. Detta är en ond cirkel som är svår att bryta. Efterfrågan finns dock om återanvänt stål kan bli omöjligt för kunden att skilja från nytt stål. Då kan återanvända produkter släppas in i det befintliga materialflödet och graden av återbruk begränsas enbart av tillgången på återanvändbara komponenter. Denna process kallas här för integrerat återbruk och illustreras i figur 4.3.

Bygg- och återanvändnings- samt återvinningsprocess löper parallellt, oberoende av varandra. Enda skillnaden jämfört med dagens processer, jämför figur 3.1, är en integrerad återanvändningsprocess. Byggprocessen är oförändrad, dvs utformning och tillverkning baseras på information om standardprodukter som förutsätts vara tillgängliga.

Vid rivning bedöms återanvändbarheten ur teknisk och ekonomisk synpunkt (prospektering) varvid ett beslut tas mellan återbruk eller återvinning.

Återbruksprocessen innebär demontering och rekonditionering innan produkternas egenskaper till slut bedöms och dokumenteras (certifiering). CE-märkning av återanvända produkter är inte möjlig men ett kontrollintyg med specifika provningsresultat kan utfärdas som säkerställer överensstämmelse med produktstandarder och möjliggör hantering i tillverkningsprocessen och CE-märkning av de bearbetade produkterna.




*Figur 4.3 Material- och informationsflöde i stålbyggnadsprocess med integrerat återbruk av stålprodukter.*

Hopblandning av nya och återanvända produkter är effektiv för att öka möjligheten att snabbt möta kunders materialbehov. **Loop Rocks Express** är ett exempel på en ytterligare tjänst som ska utnyttja Loop Rocks nätverk och koppla på täkter som kan erbjuda nytt material utöver återanvänt material från andra byggplatser.

Cleveland Steel and Tubes Ltd är ett exempel på stålleverantör som erbjuder både nya och återanvända produkter:

**Cleveland Steel and Tubes Ltd** (telefonsamtal med Roy Fishwick)

Är en stålleverantör baserad i North Yorkshire, norra England, specialiserad på återanvända stålrör. Lagret är Storbritanniens största med över 65 000 t rör på en yta av 24 ha. Materialet består av överskottspartier som kommer direkt från tillverkaren, oljeindustrin eller färdiga anläggningsprojekt. Det indelas i två olika kvalitéer:

- Prime, certifierat material med kontrolldokument från tillverkaren, antingen nytt stål direkt från tillverkaren eller överskott med full spårbarhet och;
- Non Prime, icke certifierat material med lägre kvalitet eller där kontrolldokument saknas.

Egenskaper hos Non Prime material säkerställs genom oberoende förstörande provning. Kostnaderna för provning är mycket lägre i Storbritannien än i Sverige och Norge. En komplett provningsrapport bestående av kemisk analys, drag- och seghetsprov kostar ca 1 200 SEK (100 £) och är ekonomisk för rör med en vikt ner till ca 1 t. Detta betyder att varje rör kan testas om så krävs.

Cleveland Steel and Tubes säljer ca 14 000 t per år och erbjuder även andra tjänster såsom kapning, bearbetning och ytbehandling vilka höjer värdet på produkterna. Vissa profiler lagras över decennier.

Användningsområdet är främst pålning vid stora projekt och tillgång till ett stort lager med korta leveranstider för ovanliga produkter är en stor fördel. Non Prime material är dessutom ett billigt alternativ.

Tidigare har Cleveland Steel and Tubes även handlat med andra återanvända stålprodukter. Hallar har byggts med återanvänt stål på det egna området men CE-märkning ses som ett stort hinder för handel med återanvänt stål.

Denna integrerade återbruksmodell kan möjliggöra en potentiellt mycket större avsättning för återanvända produkter som kan stimulera återbruk i stort. Å andra sidan blir miljöbedömningen av enstaka projekt svårare om andelen återanvända produkter är okänd. För att inte underminera miljöincitamentet måste metoder utvecklas för att dokumentera och hantera miljöegenskaperna antingen på projektbasis eller mer övergripande (t ex med mindre genomsnittspåverkan för allt stål från leverantörer som erbjuder återanvända produkter).

# 5 Materialbestämning

## 5.1 Allmänt

Vid nytillverkning kontrolleras produkter för att visa överensstämmelse med produktstandarder och ett kontrollintyg utfärdas. Detta intyg används sedan för att säkerställa överensstämmelse med beställningen.

För återanvända produkter kan dokumentation saknas, vara bristfällig eller visa överensstämmelse med äldre krav som skiljer sig från dagens regelverk. Därför behövs metoder för materialbestämning.

Först definieras behovet av kontroll och lämpliga metoder för olika typer av egenskaper: mekaniska egenskaper, kemisk sammansättning, dimensioner och ytbeläggning.

Tre stålprofiler har köpts och undersökts med oförstörande provningsmetoder:

- HEA120, S355J2+AR enligt SS-EN 10025-2,
- UNP120, S235JR+M enligt SS-EN 10025-2, och
- KKR 100x100x5 S355J2H enligt SS-EN 10219

Resultaten jämförs här med egenskaper från specifika kontrollintyg 3.1 vars värden betraktas som ”verkliga”.

Sedan diskuteras olika provningsprocedurer, dvs hur provningsmetoder kan samverka och i vilken omfattning.

## 5.2 Mekaniska egenskaper

### 5.2.1 Allmänt

De mekaniska materialegenskaper som har betydelse för dimensionering av stålkonstruktioner är:

1. Sträckgräns, $R_{eH}$;
2. Brottgräns, $R_m$;
3. Brottförlängning;
4. Slagseghet, samt eventuellt;
5. Deformationsegenskaper i tjockleksriktning, dvs tvärkontraktion, och;
6. Inre spänningar i valsade profiler.

Sträckgränsen är avgörande för elastisk dimensionering och direkt proportionell till bärförmågan hos långa profiler (balk och pelare). För tryckta element där instabilitet är avgörande påverkas dessutom bärförmågan av inre spänningar som uppstår vid valsning eller svetsning. För varmvalsade I-profiler är effekterna av inre spänningar framförallt beroende av geometriska förhållanden vid vanliga hållfasthetsklasser. För konstruktionsrör däremot påverkas inre spänningar av tillverkningsprocessen, dvs kall- eller varmformning, och skillnaden i bärförmåga kan som störst vara ca 20 % där varmformade rör är starkare.

Brottgränsen styr dimensionering av detaljer, t ex svets och skruvförband, och är direkt proportionell till bärförmågan.

Brottförlängningen måste vara tillräcklig stor för att säkerställa ett segt brottbeteende. Följande duktilitetskrav ställs i SS-EN 1993-1-1 och EKS10:

- $f_u/f_y \geq 1{,}10$;
- Brottförlängning ≥ 14 %, och;
- $\varepsilon_u \geq 15\ \varepsilon_y$.

Dessa krav uppfylls av stål enligt SS-EN 10025, SS-EN 10219 och SS-EN 10210. Även äldre svenska stålstandarder anger gränser på brottförlängning som är högre än 14 % (se 3.3.2) oavsett kvalité. Vår

bedömning är därför att brottförlängningen kan antas vara tillräcklig för allt stål som använts på den svenska marknaden i modern tid, dvs efter att standarder för konstruktionsstål började tillämpas 1939. Även duktilitet hos äldre stålprodukter med relativ låg brottgräns är tillräcklig.

Slagseghet används som en indikator för brottseghet. Konstruktionsstål delas in i seghetsklasser som kopplas till en minimienergi på 27 J i standardiserade slagseghetsprov (Charpy-V) vid olika temperaturer enligt tabell 5.1 nedan. Normalt föreskrivs seghetsklass J2 men J0 är fullt tillräcklig för inomhuskonstruktioner. Tidigare har brottsegheten beaktats på ett annorlunda sätt i Sverige där risken för brott uppskattades bla utifrån belastningsart och konstruktionsutformning varvid olika kvalitetsklasser (A till E) föreskrevs. Dessa kvalitetsklasser är inte direkt jämförbara med de aktuella seghetsklasserna (se 3.3.3.2) och mekanisk provning lär vara nödvändig för att säkerställa aktuella krav på slagseghet.

*Tabell 5.1 Aktuella seghetsklasser*

| Seghetsklass | Provningstemperatur [°C] |
|---|---|
| JR | 20 |
| J0 | 0 |
| J2 | -20 |
| K2 | -30 |
| N eller M | -30 |
| NL eller ML | -50 |

För stålsorter enligt SS-EN 10025, SS-EN 10219 och SS-EN 10210, indikerar en lägre halt av fosfor (P) och svavel (S) en högre seghetsklass. Detta kan eventuellt användas som alternativ till mekanisk provning.

Slutligen är deformationsegenskaper i tjockleksriktningen avgörande i vissa infästningar för att förhindra skiktbristning. Vid beställning av nytt stål kan sk Z–stål föreskrivas för vilket dessa egenskaper är säkerställda genom indelning i klasser enligt SS-EN 10164, tex Z35. Denna option används framförallt för tjocka plåtar (t ≥ 20 mm) i svetsförband med grova svetsar. För långa profiler brukar istället extra kontroll av infästningar efter svetsning föreskrivas. Ett kontraktionsvärde kan bestämmas vid dragprovning.

De mekaniska egenskaperna ovan kontrolleras av tillverkaren genom standardiserade förstörande provningar. Sträckgräns, brottgräns och brottförlängning samt deformationsegenskaper i tjockleksriktning bestäms med hjälp av dragprov enligt SS-EN 10002-1 och slagseghetprovning utförs enligt SS-EN 10045-1.

Form och dimensioner på provkroppar anges i standarderna ovan och läget för provtagning anges i respektive produktstandard.

Förfarandet innebär att en produkt förstörs och är därför enbart användbart vid stora partier där några element kan offras eller vid långa och tunga produkter. Detta är speciellt problematiskt om en hel konstruktion eller sammansatta produkter ska återanvändas eftersom de kontrollerade och förstörda elementen behöver ersättas av likvärdiga.

Bearbetning av provkroppar och själva provningen i ett laboratorium medför dessutom långa väntetider och höga kostnader. I dagsläget är kostnaden för ett prov ca 5000 kr. Och 2016 var enbart två laboratorier godkända av Trafikverket för utförande av brottmekanisk provning: LTU och KTH.

Kostnaderna kan dock bli lägre på sikt, om en större återbruksmarknad uppstår och efterfrågan ökar. I Storbritannien t ex kostar ett certifikat inklusive mekanisk och kemisk provning ca 100£ (något över

1000 kr) enligt Roy Fishwick, Cleveland Steel and Tubes. Detta kan vara så lågt som en tiondel av kostnaden i Norge enligt rapport från Norsk Stålforbund.

### 5.2.2 Oförstörande provning

Det finns tyvärr inga kända provningsmetoder för att direkt bestämma mekaniska egenskaper utan att förstöra provkroppen. Mekaniska egenskaper kan dock uppskattas indirekt eftersom de korrelerar med andra egenskaper. Ett sådant alternativ är att mäta hårdheten som sedan ger en indikation på brottgränsen.

Det finns olika metoder för hårdhetsprovning av metaller (tex Brinell, Rockwell och Vickers) där olika typer av spets används för att tillfoga lokala plastiska deformationer under känd belastning varvid deformationens storlek blir ett mått på materialets hårdhet.

Konverteringstabeller mellan de olika skalorna har utvecklats för vanliga stålsorter och är standardiserade, se SS-EN ISO 18265:2013, Metalliska material – konvertering av hårdhetsvärden. Även stålets brottgräns relateras till hårdhetsvärdet i denna standard.

Den metod för hårdhetsprovning som rekommenderas i SS-EN 1090-2 är Vickers enligt SS-EN ISO 6507 som använder en pyramidformad diamantspets och kräver optisk mätning. Denna metod möjliggör en uppskattning av brottgränsen med 10 % felmarginal (30).

Portabla hårdhetsprovare använder två andra metoder:

1. Leed Rebound Hardness Test (LRHT enligt ASTM A 956) som använder en återstudsande kula, och;
2. Ultrasonic Contact Impedance (UCI) som använder samma spets som Vickers men baseras på förändring i ultraljudfrekvenser istället för optisk mätning (DIN 50159 och ASTM A1038)

UCI är en vidareutveckling som använder samma pyramidformade spets som Vickers, vilket föreskrivs i SS-EN 1090-2.

Kostnaden för en portabel hårdhetsprovare baserat på UCI är ca 90-100 tkr.

Här är en icke uttömmande lista över svenska återförsäljare av portabla hårdhetsprovare:

- Kontrollmetod AB (www.kontrollmetod.se): Novotest T-U3
- KmK instrument AB (www.kmk-instrument.se): Proceq Equotip 550
- Novatic AB (www.novatic.se): Krautkramer MIC 10
- Holger Andreasen AB (www.holger.se): NewSonic Sonodur 2

Praktiska försök

Tre profiler har undersökts med hjälp av en UCI mätare av modell NewSonic Sonodur 2 med en manuell givare av typ Sono 10H, dvs med en tryckkraft HV1 på 10 N.

Mätaren kalibrerades genom 20 mätningar på en kalibreringsskiva (MPA NRW 5102901.0813) med hårdhet HV 440 (HV1). Variationen vid kalibrering var 3,2%.

Profilbitarna preparerades med en roterande slip följd av manuell slipning med sandpapper med kornstorlek 240.

*Figur 5.1 Provstycken och hårdhetsmätare.*

För varje provstycke valdes fem mätpunkter och tio mätningar gjordes på en preparerad yta av några kvadratcentimeter. Mätpunkter och resultat visas i tabell 5.2.

För rör- och U-profilen var variationen mellan mätpunkterna mindre än mellan mätvärden för samma mätpunkt.

HEA profilen var mycket hårdare än de två andra profilerna vilket märktes redan vid slipning då ingen blank yta kunde åstadkommas med sandpapper. Resultatens spridning var också relativt större. Hårdheten i det sågade snittet (nr 5) var dock mycket lägre än de andra. Det beslutades därför att bearbeta ytorna vid mätpunkter 1 och 3 på nytt, denna gång med en slipskiva och sandpapper med olika kornstorlekar ner till 240. Resultatet blev en blank yta liknande den hos övriga profiler. Denna syns tydligt på figur 5.1 där en hård rostfärgad valshud kan anas. De nya mätpunkterna betecknas 1' och 3' i tabellen nedan. Hårdheten för dessa liknar den i det sågade snittet och variationen uppgår till några procent.

Hårdheten kan konverteras till brottgränsen enligt Bilaga A i SS-EN ISO 18265 där följande linjära korrelation anges:

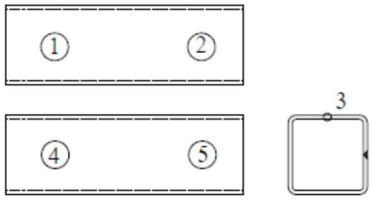
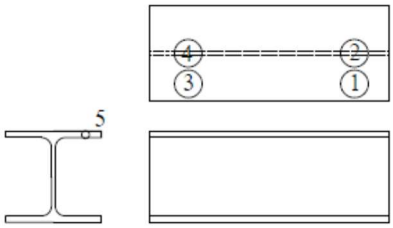
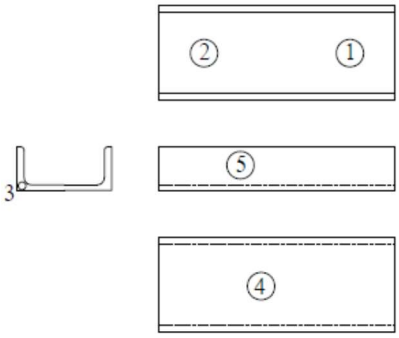
$$R_{\mathrm{m}} = 3{,}22\ \mathrm{HV} - 2{,}66$$

Tabell 5.3 nedan visar en jämförelse av brottgränsen enligt produktstandard, kontrollintyg och hårdhetsmätning. Genom hårdhetsmätning överskattas brottgränsen med lite över 10% för rör- och U-profilen jämfört med resultat i deras kontrollintyg. För HEA profilen blir felet hela 35%.

Den konsekventa överskattningen kan eventuellt bero på givaren som använder en för liten kraft. För konstruktionsstål rekommenderas nämligen en annan givare (Sono 100H) med tryckkraft HV10 på 98 N vilken också förutsätts vid hårdhetsmätning enligt SS-EN 1090-2.

Ett UCI instrument med HV1 givare verkar överskatta brottgränsen för mycket för en tillräckligt noggrann bedömning av stålets hållfasthet. Det är dock möjligt att en större kraft (HV10) skulle ge andra resultat. Även en annan konverteringstabell mer specifikt anpassad till konstruktionsstål kunde förbättra resultaten.

*Tabell 5.2 Hårdhetsprovning - Mätpunkter och resultat*

| KKR 100x100x5 S355J2H | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | Mätpunkt | min | max | snitt | variation | | Brottgräns |
| | | HV | HV | HV | HV | % | MPa |
| | 1 | 166 | 193 | 184 | 8 | 4,2 | 590 |
| | 2 | 165 | 179 | 173 | 5 | 2,8 | 554 |
| | 3 | 168 | 207 | 185 | 11 | 6,1 | 593 |
| | 4 | 167 | 224 | 185 | 16 | 8,9 | 593 |
| | 5 | 165 | 203 | 180 | 10 | 5,8 | 577 |
| HEA120 S355J2+AR | | | | | | | |
|  | Mätpunkt | min | max | snitt | variation | | Brottgräns |
| | | HV | HV | HV | HV | % | MPa |
| | 1 | 447 | 736 | 621 | 80 | 12,9 | 1997 |
| | 2 | 495 | 717 | 596 | 67 | 11,2 | 1916 |
| | 3 | 474 | 651 | 581 | 55 | 9,4 | 1868 |
| | 4 | 398 | 730 | 612 | 94 | 15,4 | 1968 |
| | 5 | 204 | 234 | 222 | 11 | 4,9 | 712 |
| | 1’ | 207 | 260 | 232 | 16 | 6,9 | 744 |
| | 3’ | 219 | 269 | 243 | 15 | 6,1 | 780 |
| UNP120 S235JR+M | | | | | | | |
|  | Mätpunkt | min | max | snitt | variation | | Brottgräns |
| | | HV | HV | HV | HV | % | MPa |
| | 1 | 146 | 161 | 154 | 5 | 3,2 | 493 |
| | 2 | 147 | 172 | 157 | 6 | 4,1 | 503 |
| | 3 | 158 | 180 | 171 | 7 | 4,1 | 548 |
| | 4 | 151 | 191 | 169 | 14 | 8,1 | 541 |
| | 5 | 147 | 191 | 169 | 15 | 8,7 | 541 |

*Tabell 5.3 Brottgräns enligt produktstandard, kontrollintyg och hårdhetsmätning*

| Profil | Stålsort | $R_m$ [MPa] enligt | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Produktstandard | Intyg | Hådhetsmätning |
| KKR 100x100x5 | S355J2H | 470-630 | 524 | 581 |
| HEA120 | S355J2+AR | 470-630 | 551 | 745 |
| UNP120 | S235JR+M | 360-510 | 466 | 525 |

Denna metod är dock mycket snabb och enkel. Efter preparering (slipning) görs mätningen på några sekunder och instrumentet erbjuder statistisk utvärdering och konvertering. Dessutom är resultatens spridning inom samma provstycke mycket liten. Detta gör hårdhetsmätning lämplig för indelning av produkter i grupper inför annan typ av provning.

Det uppskattas att produkter med ett genomsnittsvärde för 10 mätningar i en intervall på +/- 5% kan antas tillhöra samma batch med lika egenskaper.

Detta bör kontrolleras genom större statistiskt underlag och hårdhetsvärden baserade på tryckkraft HV10.

## 5.3 Kemisk sammansättning

För verifiering av kemisk sammansättning hänvisar SS-EN 10025 till den tekniska rapporten SIS-CEN/TR 10261:2013 som listar europeiska standarder för bestämning av kemisk sammansättning för järn och stål. Dessa standarder utvecklas av ECISS/TC 102 under ledning av SIS. WG1 och WG2 sysslar med XRF respektive OES och leds av Bo Evert Gustaf Larsson (Larssons XRF-Konsult) och Sanna Edlund (Projektledare hos SIS).

Enligt SS-EN 10025 får tillverkaren välja en lämplig metod. I SIS-CEN/TR 10261:2013 delas metoder och standarder in i *referee methods* som används vid certifiering och *routine methods* som kan användas för daglig kontroll. Vissa metoder har fokus på ett enda grundämne (*mono-elemental*) medan andra innefattar flera grundämnen samtidigt (*multi-elemental*).

*Tabell 5.4 Europeiska standarder för bestämning av kemisk sammansättning, SIS-CEN/TR 10261:2013*

| Standard | Metod | | Grundämne |
|---|---|---|---|
| Referee methods | | | |
| EN ISO 10720 | Conduct | Värmeledningsförmåga | N |
| EN 29658 | FAAS | Atomabsorptionsspektroskopi | Al |
| EN 10177 | | | Ca |
| EN 10188 | | | Cr |
| EN 24943 | | | Cu |
| EN ISO 10700 | | | Mn |
| EN 10136 | | | Ni |
| EN 10181 | | | Pb |
| EN 10211 | | | Ti |
| EN ISO 4934 | GRAV | Gravimetri | S |
| EN ISO 439 | | | Si |
| EN 24938 | GRAV/TITR | Gravimetri eller titrering | Ni |
| EN ISO 15349-2 | HFIR | Infraröttabsorption | C |
| EN ISO 9556 | | | |
| EN ISO 24935 | | | S |
| EN 10276-2 | IR | IR-metod | O |
| EN 10212 | MAS | Spektrofotometri | As |
| EN 10200 | | | B |
| EN ISO 13900 | | | |
| EN 24946 | | | Cu |
| EN 10179 | | | N |
| EN ISO 4945 | | | |
| EN 10178 | | | Nb |
| EN 10184 | | | P |
| EN ISO 10714 | | | |
| EN 24829-1 | | | Si |
| EN 24829-2 | | | |
| EN ISO 10820 | | | Ti |
| EN 24159 | POT | Potentiometrisk titrering | Mn |
| EN 24947 | | | V |
| EN 24937 | TITR | Titrering | |
| Routine methods | | | |
| EN 10318 | GD-OES | Optisk emissionsspektroskopi (glöd urladdning) | Al, Ni, Pb, Si, Zn |
| EN 10351 | ICP-OES | Optisk emissionsspektroskopi (induktivt kopplad plasma) | Al, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, P, Sn, V |
| CR 10320 | Spark-OES | Gnister OES | C, Cr, Cu, Mn, Ni, P, S, Si |
| EN 10315 | XRF | Röntgensfluorescens | Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Si, Ti, V |
| EN ISO 15350 | HFIR | Infraröttabsorption | C, S |
| EN ISO 15351 | Conduct | Värmeledningsförmåga | N |

Oavsett provningsmetod hänvisar SS-EN 1090-2 till SS-EN ISO 14284 för provtagning och provberedning.

Inom Trafikverkets säkerhetsstyrningssystem för järnväg kan stålets sammansättning provas enligt TDOK 2012:23. En fullständig materialanalys ska utföras enligt ASTM E415 (*Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry*) där följande ämnen framgår: C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni, Cu, Mo, V och N.

De viktiga grundämnen som påverkar den s k kolekvivalenten, se 3.3.3.3, är: C, Mn, Cr, Mo, V, Ni och Cu.

Kraven på kemisk sammansättning i EN 10025 visar ett visst mönster som eventuellt kan utnyttjas vid materialbestämning. Koncentrationer i stålprodukter kan dock avvika från de standardiserade maximikraven. Nedan beskrivs hur max halter av olika legeringsämnen varierar mellan stålsorter enligt EN 10025.

- Kol (C): tillåten kolhalt är störst för olegerade stål (EN 10025-2, J) och lägst för termomekaniskt valsade stål (EN 10025-4, M)
- Mangan (Mn): tillåten manganhalt är i princip lika för alla delar av EN 10025. En högre manganhalt indikerar en högre hållfasthet.
- Fosfor (P) och Sulfur (S): Olegerade stål (EN 10025-2) får innehålla mer fosfor och sulfur. Vid givna hållfasthet och leveranstillstånd indikerar högre fosfor- och sulfurhalt en högre seghetsklass.
- Kväve (N): Olegerade stål (EN 10025-2) får inte innehålla lika mycket kväve. En högre kvävehalt indikerar en högre hållfasthet.
- Koppar (Cu): tillåten kopparhalt är lika för alla stålsorter.
- Nickel (Ni): Nickelhalten begränsas för finkornstål (EN 10025-3, N och -4, M). En högre nickelhalt indikerar en högre hållfasthet.
- Molybden (Mo): termomekaniskt valsade stål i högre hålfasthetsklasser (S420 och S460) får innehålla mer molybden. Det finns ingen begränsning för olegerade stål.
- Aluminium (Al): Finkornstål ska ha en viss aluminiumhalt oavsett hållfasthet och seghet.
- Kolekvivalent (CEV): för en given hållfasthetsklass är kolekvivalenten mindre för finkornstål. Lägst kolekvivalent (och därmed bättre svetsbarhet) har termomekaniskt valsade stål (EN 10025-4, M)

Enligt de kontrollintyg som följde med de tre profiler som undersöktes inom detta projekt är de flesta legeringshalterna mycket lägre än gränsvärden som anges i respektive standard. Dessutom varierar sammansättningen mycket både mellan stålsorter och inom samma stålsort men inget tydligt mönster kan urskiljas.

Kolekvivalenten är ett möjligt undantag där ett lägre värde verkar kunna kopplas till en lägre hållfasthet.

Utifrån det begränsade data vi har kan information om kemisk sammansättning användas för att stödja antaganden om en viss hållfasthet och svetsbarhet kan bedömas med hjälp av kolekvivalenten.

Enstaka legeringshalter kan också användas för att utesluta vissa stålsorter ifall ett gränsvärde överträds. Det verkar dock omöjligt att bestämma stålsorten utifrån kemisk sammansättning. För att kunna göra det i detalj behövs utförlig information om normal sammansättning hos flera stålsorter. Denna information finns möjligen hos ståltillverkarna men är inte allmänt tillgänglig. Med största sannolikhet är variationen dessutom stor mellan olika tillverkare.

### 5.3.1 Oförstörande provning

Oförstörande materialanalys (*Positive Material Identification*, PMI) används inom återvinningsindustrin och många tillverkande industrier för att grovt sortera metaller eller säkerställa materialleveranser.

Tre olika analysmetoder finns för att identifiera metallers kemiska sammansättning ute i fält:

1. Röntgensfluorescens (*X-ray fluorescens*, XRF)
2. Optisk emissionsspektroskopi (*Optical Emission Spectroscopy*, OES)
3. LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*)

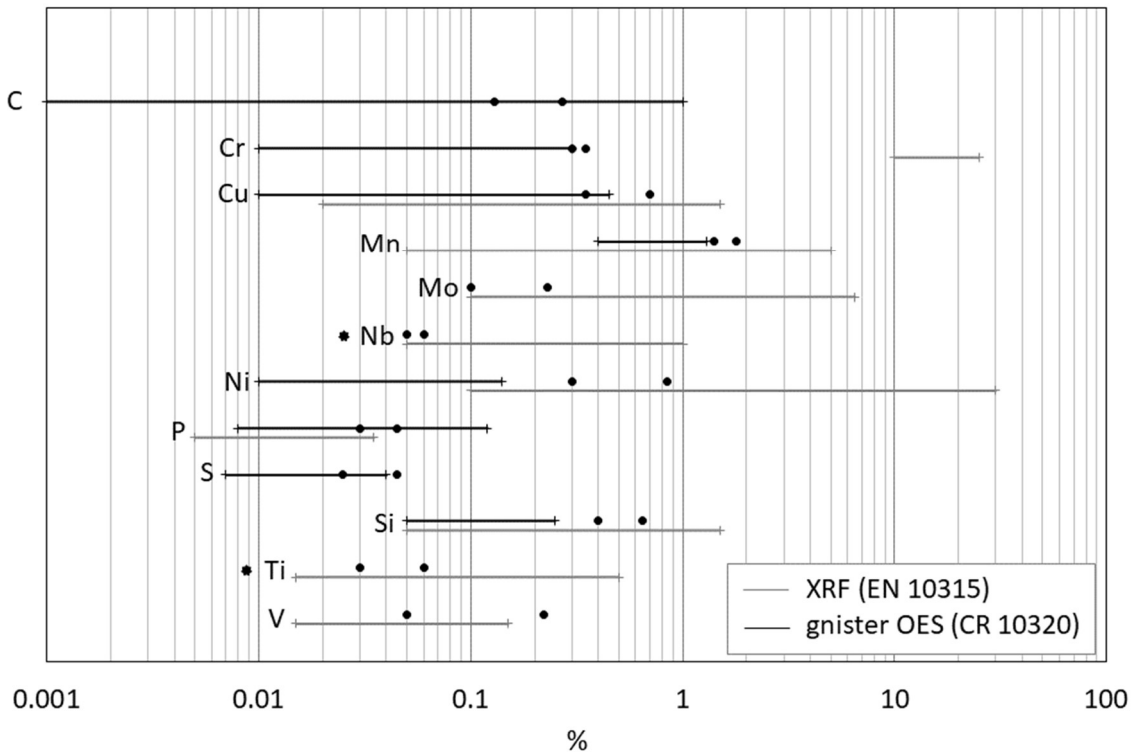
Dessa metoder beskrivs nedan och dess för- och nackdelar presenteras.

Det finns Europeiska standarder för XRF och OES men inte för LIBS. I tabellen nedan jämförs respektive mätintervaller för viktiga grundämnen. De legeringsämnen som ska ingå i en kemisk analys enligt Trafikverkets TDOK 2012:23 och de som ingår i beräkningen av kolekvivalenten markeras med ”X”.

*Tabell 5.5 Mätintervaller för XRF och OES analysmetod enligt respektive standard*

| legeringsämne | CR 10320 (Gnister-OES) | | EN 10315 (XRF) | | TDOK 2012:23 | CEV |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | min [%] | Max [%] | min [%] | Max [%] | | |
| Kol (C) | 0,001 | 1,0 | - | | X | X |
| Krom (Cr) | 0,01 | 0,3 | 10 | 25 | X | X |
| Koppar (Cu) | 0,01 | 0,45 | 0,02 | 1,5 | X | X |
| Mangan (Mn) | 0,4 | 1,3 | 0,05 | 5,0 | X | X |
| Nickel (Ni) | 0,01 | 0,14 | 0,1 | 30 | X | X |
| Fosfor (P) | 0,008 | 0,12 | 0,005 | 0,035 | X | |
| Silikon (Si) | 0,05 | 0,25 | 0,05 | 1,5 | X | |
| Sulfur (S) | 0,007 | 0,04 | - | | X | |
| Kobalt (Co) | - | | 0,015 | 0,30 | | |
| Molybden (Mo) | - | | 0,1 | 6,5 | X | X |
| Niobium (Nb) | - | | 0,05 | 1,0 | | |
| Titan (Ti) | - | | 0,015 | 0,50 | | |
| Vanadium (V) | - | | 0,015 | 0,15 | X | X |

Dessa intervaller visas också i figuren nedan där intervallen för maximikrav för stål enligt EN 10025 markerats (prickar).




*Figur 5.2 Mätintervaller för XRF och OES samt maximi krav för stål enligt EN 10025.*

Det framgår av figuren att OES och XRF lämpar sig olika bra för olika legeringsämnen. De viktiga ämnena kol (C), Krom (Cr) och koppar (Cu) kan endast mätas med OES som är den metod som kan fånga största antal ämnen. XRF kan å andra sidan mäta Mangan (Mn) i ett större intervall samt molybden(Mo) och vanadium (Va) som inte ingår i en OES-analys över huvud taget. Detta sammanfattas i tabellen nedan där ämnen som ingår vid beräkning av kolekvivalenten är i fet stil.

*Tabell 5.6 Lämplighet av OES och XRF för grundämnen som ska ingå i en kemisk analys enligt TDOK 2012:23 av stål enligt EN 10025.*

| Legeringsämne | CR 10320 (Gnister-OES) | EN 10315 (XRF) |
|---|---|---|
| **Kol (C)** | Bäst | |
| **Krom (Cr)** | Bäst | |
| **Koppar (Cu)** | Bäst | |
| **Mangan (Mn)** | Ok | Bäst |
| **Nickel (Ni)** | Ok | Ok |
| Fosfor (P) | Bäst | Ok |
| Silikon (Si) | Ok | Bäst |
| Sulfur (S) | Bäst | |
| **Molybden (Mo)** | | Ok |
| Vanadium (V) | | Ok |

XRF kan troligen användas i en föranalys men bör kompletteras med OES om en mer komplett analys krävs, framförallt för att uppskatta kolhalten som är grundläggande för svetsbarheten.

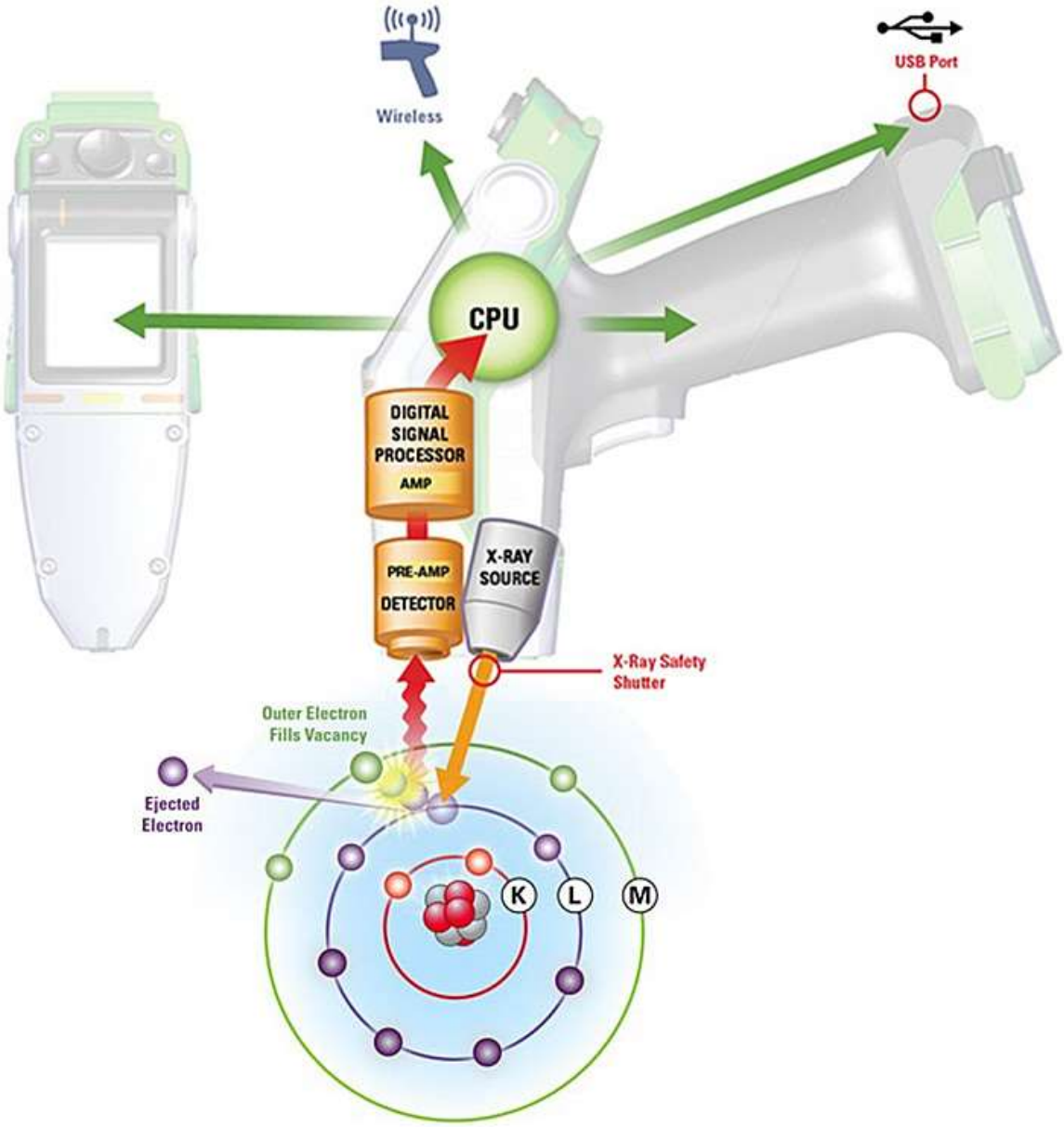
En OES-analys kan vara tillräcklig om halter av molybden och vanadium kan uppskattas på säkra sidan.

#### 5.3.1.1 Röntgensfluorescens (XRF)

Röntgensfluorescens (XRF) är den enklaste och mest utbredda metoden för materialanalys i fält. En röntgenstrålning med hög energi riktas mot materialet där den slår ut elektroner från atomerna. När elektroner från det inre skalet försvinner ersätts de av elektroner från det yttre skalet och en sekundär strålning avges (fluorescens) med en ämnesspecifik våglängd.

Genom att analysera den sekundära strålningens spektrum kan materialets sammansättning identifieras. Detta görs med *Energy Dispersive Spectrometry* (EDS) eller *Wavelength Dispersive Spectrometry* (WDS). EDS baseras på givare av kiselhalvledare och är lämpad för applikationer där olika ämnen ska analyseras samtidigt. Moderna handhållna XRF-instrument använder EDS.

Instrumentet fastställer vilka grundämnen som förekommer och även deras relativa koncentration.




*Figur 5.3 Princip för XRF-instrument (ThermoFischer Scientific).*

XRF-utrustning kan användas för att detektera grundämnen ner till magnesium (Mg) och är lämpliga för låga halter av fosfor (P) och svavel (S). Däremot kan lätta ämnen som Kol (C) och kväve (N) inte analyseras. XRF-mätare är därmed lämpliga för att skilja mellan olika sorter av rostfritt stål men begränsade när det gäller låglegerat kolstål vilket utgör största delen av konstruktionsstålen. Att bestämma kolekvivalenten med enbart denna teknik är omöjligt.

XRF-mätare kan användas för att bestämma innehållet i ytbeläggningar.

Röntgenstrålningen kan ha en inverkan på kroppen och utrustningen får endast användas av personal med lämplig utbildning.

Kostnaden för ett portabelt XRF-instrument är ca 160-200 tkr inklusive utbildning.

Här är en icke uttömmande lista över svenska återförsäljare av portabla XRF-instrument:

- Ametek Nordic AB (www.ametek.com, www.spectro.com): Spectro xSORT
- Elvatech (www.elvatech.com)
- Hitachi High-Tech Analytical Science (www.hha.hitachi-hightech.com): X-MET8000 range
- Holger Andreasen AB (www.holger.se, www.thermofisher.com): ThermoFisher Scientific Nilton XL5
- Karl Deutsch Nordiska AB (www.kdn.se, www.bruker.com): Bruker S1 Titan
- Olympus (www.olympus-ims.com): Delta professional
- Scantec Nordic (www.scantecnordic.se): SciAps X-300

**Praktiska försök**

Spectro i Tyskland ordnade en internetdemonstration av deras xSORT instrument.

Ytan måste prepareras med omsorg. Det rekommenderas att använda en roterande slipmaskin med kornstorlek 40.

Instrumentet är mycket känsligt för ytans egenskaper. Detta illustreras i resultaten nedan där halterna av mangan och kisel är olika för en preparerad och en opreparerad yta (UPE-profil).

*Tabell 5.7 Olika resultat för preparerad respektive opreparerad yta med xSORT instrument.*

| Ämne | Preparerad yta | Opreparerad yta (spår av rost) |
|---|---|---|
| Mn | 0,82 | 0,77 |
| Si | 0,14 | 0,44 |

När det gäller låglegerade stålsorter som används i stålkonstruktioner kan XRF-instrumentet ge kvalitativa resultat men noggrannheten räcker inte för pålitliga kvantitativa analyser.

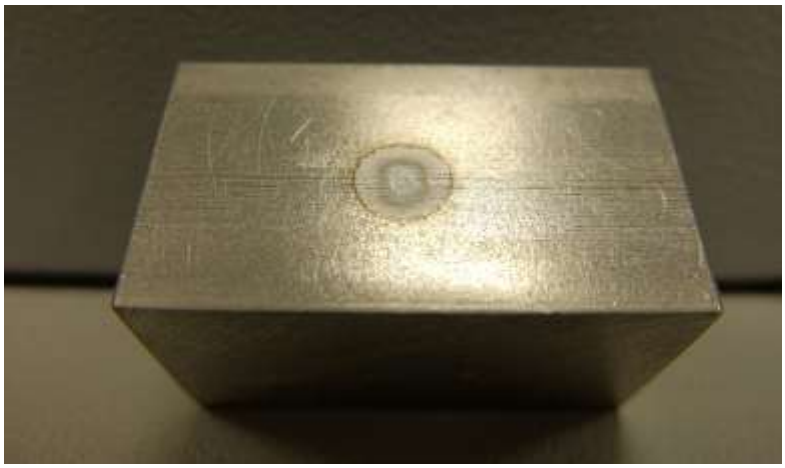
Instrumentet är inte lämpligt för sortering av låglegerade stålsorter men kan däremot användas för att upptäcka farliga eller förbjudna ämnen i färger och ytbehandlingar.

#### *5.3.1.2 Optisk emissionsspektroskopi (OES)*

Optisk emissionsspektroskopi bygger på samma princip som röntgensfluorescens men använder en ljusbåge som energikälla och den sekundära strålningen som analyseras har längre våglängder (synligt och UV ljus).

OES-instrument eller gnistspektrometer möjliggör noggrannare analyser jämfört med XRF-instrument och kan detektera lätta grundämnen som kol (C) och kväve (N).

Ljusbågen skadar provstyckets yta i form av små brännmärken på ca 5 mm i diameter.



*Figur 5.4 Brännmärke från OES (wika.com)*

Instrumenten är bärbara men betydligt tyngre och mer skrymmande än handhållna XRF-instrument. I vissa fall används argon som skyddsgas.

*Figur 5.5 OES instrument (PMI-MASTER från Hitachi High-Tech Analytical Science och Spectroport från Spectro)*

Kostnaden för ett portabelt OES-instrument är ca 250-300 tkr inklusive utbildning.

Här är en icke uttömmande lista över svenska återförsäljare av portabla OES-instrument:

- Ametek Nordic AB (www.ametek.com, www.spectro.com): Spectrotest, Spectroport
- Hitachi High-Tech Analytical Science (www.hha.hitachi-hightech.com): PMI-Master
- Karl Deutsch Nordiska AB (www.kdn.se, www.bruker.com): Q4 Mobile

**Praktiska försök**

Tre prover skickades till Spectro i Tyskland för analys med en Spectroport.

Instrumentet är batteridrivet och använder argon som skyddsgas. På bilden i figur 5.5 (höger) syns en version med stor flaska. En mer lätthanterlig flaska på 2L är också tillgänglig. Batteritiden är 4-5 timmar eller 500 mätningar.

Ytan måste prepareras, dvs rost och ytbehandling avlägsnas. En roterande slipmaskin med kornstorlek 40 är lämplig.

Ytan måste vara ledande vilket gör instrumentet olämpligt för analys av färger.

Analysen görs omedelbart och resultaten kan bearbetas av instrumentet med bl a statistiska verktyg, beräkning av kolekvivalent och jämförelse med databaser.

Förutom standarddatabaser kan egna stålsorter definieras med anpassade gränser.

För var och en av de tre provstycken som analyserades gjordes tre mätningar. Instrumentet ger konsekventa resultat med små variationer. I tabell 5.8 jämförs genomsnitt och variation från tre provningar med värden i respektive kontrollintyg.

Halterna överskattas i de flesta fall och skillnaderna är mycket större än variationer mellan mätningar. De går från några få till flera hundra procent. Bland ämnena som ingår vid beräkning av kolekvivalenten är Mn det som uppskattas bäst med ett fel på några få procent. Cr, Ni och Cu har fel upp till ca 30%. Mo och V skiljer sig ännu mer. Till skillnad från de andra ämnena underskattas kolhalten konsekvent med ca 14%. Kolekvivalenten underskattas därmed med några procent vilket kan anses godtagbart.

Det är möjligt att resultaten från charge analysis i kontrollintyg skiljer sig något från den färdiga produkten. Generellt rekommenderas att instrumentet testas ibland mot kända material för att säkerställa mätningarnas noggrannhet.

*Tabell 5.8 Provningsresultat – kemisk sammansättning med OES instrument*

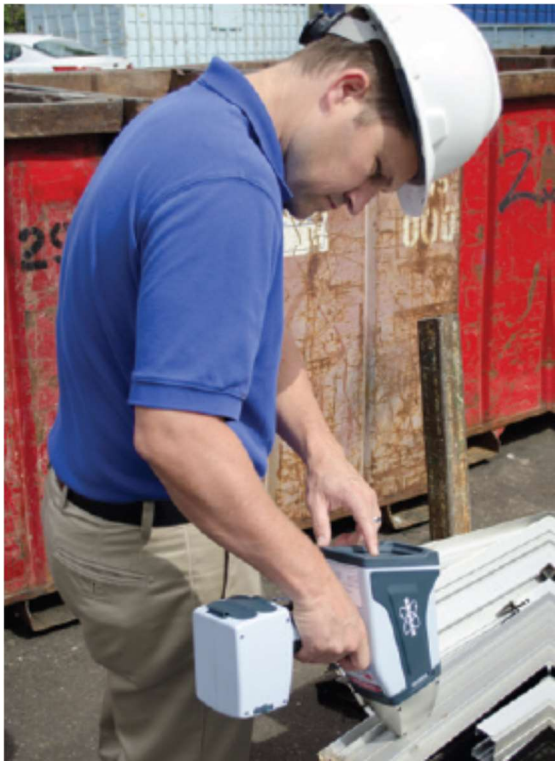
| KKR 100x100x5 S355J2H | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ämne | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Al | Cu | Nb | Ti | V | Pb | Sn | As | B | CEV |
| Intyg | 0,16 | 0,01 | 1,26 | 0,014 | 0,006 | 0,022 | 0,002 | 0,016 | 0,032 | 0,01 | 0,011 | | | | | | | 0,375 |
| Genomsnitt | 0,14 | 0,027 | 1,29 | 0,026 | 0,009 | 0,029 | <0,007 | 0,017 | 0,038 | 0,01 | 0,011 | | | | | | | 0,363 |
| Variation | 0,004 | 0,002 | 0,013 | 0,001 | 0,0004 | 0,0007 | 0,004 | 0,002 | 0,013 | 0,0002 | 0,0008 | | | | | | | - |
| skillnad | -0,02 | 0,017 | 0,03 | 0,012 | 0,003 | 0,007 | X | 0,001 | 0,006 | 0,006 | 0,002 | | | | | | | -0,012 |
| HEA120 S355J2+AR | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ämne | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Al | Cu | Nb | Ti | V | Pb | Sn | As | B | CEV |
| Intyg | 0,09 | 0,018 | 1,2 | 0,015 | 0,007 | 0,14 | 0,03 | 0,18 | 0,009 | 0,34 | 0 | 0 | 0,05 | | | | | 0,37 |
| Genomsnitt | 0,076 | 0,17 | 1,22 | 0,02 | 0,017 | 0,13 | 0,037 | 0,16 | 0,013 | 0,39 | <0,007 | <0,002 | 0,05 | | | | | 0,36 |
| Variation | 0,007 | 0,006 | 0,008 | 0,001 | 0,0007 | 0,0005 | 0,0006 | 0,002 | 0,003 | 0,01 | 0 | 0 | 0,001 | | | | | - |
| Skillnad | -0,014 | 0,152 | 0,02 | 0,005 | 0,01 | -0,01 | 0,007 | -0,02 | 0,004 | 0,05 | X | X | 0 | | | | | -0,011 |
| UPN120 S235JR+M | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ämne | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Al | Cu | Nb | Ti | V | Pb | Sn | As | B | CEV |
| Intyg | 0,16 | 0,22 | 0,79 | 0,017 | 0,014 | 0,02 | 0,002 | 0,014 | 0,003 | 0,04 | 0,001 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,0005 | 0,30 |
| Genomsnitt | 0,14 | 0,22 | 0,80 | 0,021 | 0,017 | 0,024 | 0,007 | 0,017 | 0,006 | 0,048 | <0,007 | 0,002 | <0,004 | <0,011 | 0,006 | 0,007 | 0,0008 | 0,28 |
| Variation | 0,003 | 0,002 | 0,004 | 0,001 | 0,002 | 0,0008 | 0,0004 | 0,001 | 0,0002 | 0,002 | 0 | 0,0001 | 0 | 0 | 0,0009 | 0,0009 | 0 | - |
| Skillnad | -0,02 | 0 | 0,01 | 0,004 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,003 | 0,003 | 0,008 | X | 0,001 | -0,003 | X | 0,003 | 0,006 | 0,0003 | -0,016 |

#### 5.3.1.3 Laserspektroskopi (LIBS)

Laserspektroskopi (LIBS) liknar principen för optisk emissionspektroskopi (OES) men använder laser istället för en ljusbåge. Instrumenten är mindre och liknar mycket handhållna XRF-instrument.

Största fördelen med LIBS instrument är att de möjliggör snabba mätningar utan röntgenstrålning.

Deras användningsområde är dock begränsad på grund av sämre precision jämfört med XRF. Det finns ingen standard för kemisk analys av stål med denna typ av instrument.



*Figur 5.6 LIBS instrument (Bruker EOS 500)*

Här är en icke uttömmande lista över svenska återförsäljare av portabla LIBS-instrument:

- Karl Deutsch Nordiska AB (www.kdn.se, www.bruker.com): Bruker EOS 500
- Hitachi High-Tech Analytical Science (www.hha.hitachi-hightech.com): Vulcan range
- Rigaku (www.rigaku.com): KT-100S
- Scantec Nordic (www.scantecnordic.se): SciAps Z200 och Z300

## 5.4 Dimensioner och toleranser

Denna rapport fokuserar i första hand på valsade komponenter i bärande konstruktioner. Dessa är standardiserade profiler vars geometri och toleranser inte har förändrats nämnvärt under åren. Ett visst tvärsnitt kan därför lätt identifieras utifrån några dimensioner som mäts med enkla medel.

Enkla lasermätare kan användas av en enda operatör för att bedöma längder. Produkternas vikt kan då snabbt uppskattas med digitala verktyg.

Yeung (31) presenterar en innovativ metod som använder 3D skanning och kan automatiskt identifiera profiler med god noggrannhet.

Toleranser kan bedömas i två steg:

1. visuell kontroll och enkel mätning på plats, och;
2. noggrannare kontroll i fabrik som del i rekonditioneringsprocess

## 5.5 Ytbeläggning

Normalt har stålprodukter någon form av ytbeläggning antigen av estetiska skäl eller som rostskydd eller eventuellt brandskydd.

Ytbeläggningen påverkar produktens funktion och värde. Den bör därför undersökas för att ta reda på dess skick, om den fortfarande kan uppfylla sin funktion och om den innehåller farliga eller förbjudna ämnen.

En första visuell kontroll kan avgöra om det finns något rostangrepp. Även typen av ytbeläggning kan uppskattas:

- Förzinkning;
- Sprutmetallisering;
- Målning, eller;
- Sprutisolering (brandskydd).

Den kemiska sammansättningen av färger eller metallskikt och dess tjocklek kan analyseras på ett oförstörande sätt med hjälp av XRF-instrument, se 0, respektive skiktstjockleksmätare.

Äldre färger och brandskyddslösningar kan innehålla farliga eller förbjudna ämnen.

Giftiga ämnen kan ge minuspoäng i miljöcertifieringssystem och kräva registrering. Om de redan ingår i en stabil produkt och inte släpps ut till miljön är återanvändning dock inte direkt skadlig. Det är även oklart om en återanvänd produkt omfattas av samma regelverk som nya produkter när det gäller förbjudna ämnen, jämför äldre bilar som inte uppfyller dagens krav.

Asbest som förekommer i brandskyddsisolering ska saneras enligt Arbetsmiljöverkets föreskrifter.

Blymönja som var det vanligaste rostskyddsmedlet före 1960 är klassat som miljö- och hälsofarligt. Det får inte längre säljas till allmänheten men det finns inga särskilda restriktioner för yrkesmålare (32).

## 5.6 Provningsprocedurer

Olika provningsprocedurer kan tillämpas vid återbruk av stål, från enkel nedgradering där det värsta antas (se 5.6.1) till genomgående förstörande provning (se 5.6.2).

Vilken procedur som är bäst lämpad beror på utgångspunkten för och syftet med undersökningen. Det är en stor skillnad mellan konstruktioner där dokumentation är tillgänglig och materialet kan tilldelas en gällande produktstandard som enbart behöver bekräftas och helt okänt material där egenskaperna måste undersökas mer explicit.

I detta avsnitt diskuteras olika provningsprocedurer. Först beskrivs konsekvenserna av nedgradering som gör det till ett sämre alternativ. Sedan förklaras principerna bakom dimensionering genom provning enligt Eurokod och hur de kan tillämpas för att bestämma materialegenskaper. Detta kan bli en del i en större provningsprocedur. Förslaget i Norska Stålforbund rapport (33) diskuteras. Till sist presenteras fyra provningsprocedurer och hur dessa ska tillämpas utifrån förutsättningar så som tillgänglig dokumentation och byggår.

### 5.6.1 Nedgradering

Det finns många stålsorter med varierande egenskaper men dessa behöver inte nödvändigtvis vara kända om antaganden på säkra sidan kan göras istället.

Stålets hållfasthet kan eventuellt nedgraderas till S235 som har varit den lägsta hållfasthetsklassen sedan standarder för konstruktionsstål började tillämpas.

En nedgradering av den vanligaste hållfasthetsklassen S355 till den lägsta S235 innebär en tydlig försämring och större tvärsnitt krävs för att uppnå samma bärförmåga. Om profilens styrka avgör dimensioneringen är viktökningen ca 50% vid normalbelastning och mellan 20 och 50% vid ren böjning

av en HEA profil. Om styvheten är avgörande är dimensioneringen däremot oberoende av hållfasthetsklassen och en nedgradering medför ingen skillnad.

Även seghetsklassen bör underskattas och den lägsta klassen JR bör tillämpas. Detta innebär att nedgraderat stål bör uteslutande användas till konstruktioner i uppvärmda byggnader.

När stålet underutnyttjas används material som annars skulle ha återvunnits. Då efterfrågan är stor betyder detta att mer råmaterial krävs vilket påverkar miljöfördelarna vid återbruk negativt.

Nedgradering kan däremot vara ekonomiskt fördelaktigt då kostnader för provning faller bort.

### 5.6.2 Dimensionering genom provning

Vid dimensionering enligt Eurokod tillämpas partialkoefficientmetoden. Karakteristiska värden på mekaniska egenskaper används och den naturliga variationen hos dessa egenskaper beaktas genom att definiera det karakteristiska värdet som en viss procentfraktil och sedan bestämma en säkerhetsfaktor (=partialkoefficient) för att uppnå önskvärd säkerhetsnivå.

För karakteristisk sträck- och brottgräns hos konstruktionsstål tas 5-procentfraktilen (95 % av produkterna har faktiskt en högre hållfasthet) och partialkoefficienten är $\gamma_m$ =1,0.

Många profiler uppvisar antagligen högre hållfasthetsvärde och detta kunde utnyttjas när provningar behöver utföras.

Bilaga D i SS-EN 1990 beskriver en metod för att bestämma egenskaper genom provning och statistisk utvärdering. Om vi antar att alla profiler med samma dimension och funktion i en konstruktion utgör ett parti och dess mekaniska egenskaper har en lognormalfördelning med tidigare känd variationskoefficient, kan det karakteristiska hållfasthetsvärdet tas som:

$$X_{\mathrm{k}} = \exp\left[m_{\mathrm{y}} - k_{\mathrm{n}}\sqrt{\ln(V_{\mathrm{X}}^2 + 1)}\right]$$

$$m_{\mathrm{y}} = \frac{1}{n}\sum \ln(x_{\mathrm{i}})$$

där

$V_X$ är variationskoefficienten,

$k_n$ är det karakteristiska värdet för fraktilfaktorn beroende av antalet provningar, *n*, och

$x_i$ är egenskapens värde vid provning nummer *i*.

Alpsten (34) undersökte svenska stål 1973 med resultat enligt tabellen nedan. Sträckgränsen uppvisade en lognormalfördelning. Dessa resultat ligger till grund för Eurokodens partialkoefficienter där en variationskoefficient på 0,07 antogs (35).

*Tabell 5.9 Variation av sträckgräns hos svenska stål på 1970-talet, enligt (34)*

| Material | Nominal $f_{y,l}$ [1)] [MPa] | $\frac{\text{mean } f_y}{\text{nom. } f_y}$ | Coeff. of Var. $V$ |
|---|---|---|---|
| SS 14 1x | 250 - 260 [2)] | 1,18 | 0,12 |
| SS 21 7x | 290 - 310 [2)] | 1,26 | 0,12 |
| SS 21 32 | 350 | 1,14 | 0,06 |
| SS 21 42 | 390 | 1,12 | 0,06 |

Nethercot och Byfield (36) gjorde liknande undersökningar i början på 1990-talet med resultat enligt tabellen nedan, varpå de drog slutsatsen att variationskoefficienten kan tas som 0,05.

*Tabell 5.10 Variation av sträckgräns hos europeiska stål på 1990-talet, enligt (36)*

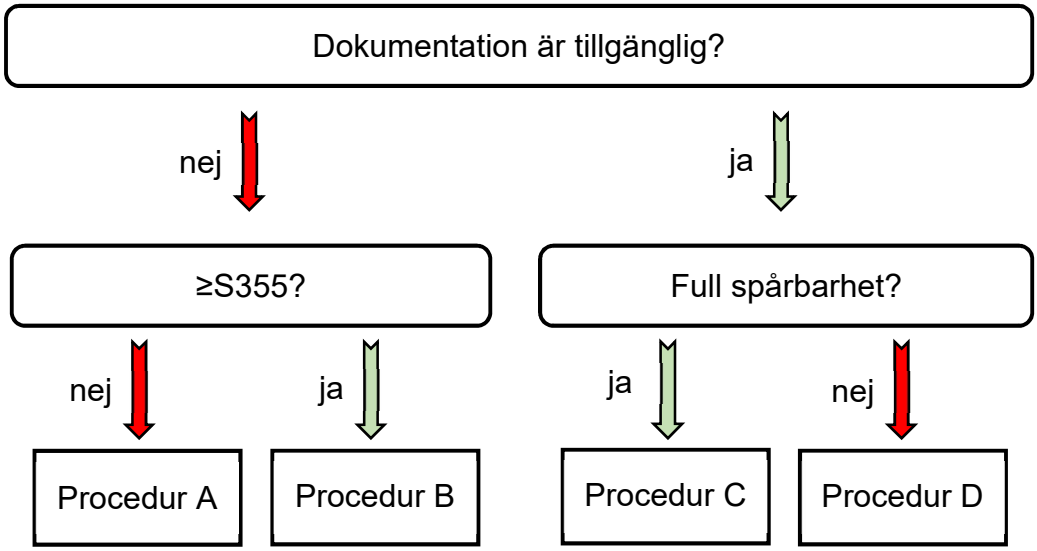
| $t_f$ (mm) | sample size | $V_{f_y}$ | $f_y$ mean/nom | 95% conf limit of $f_y$ (mean/nom) |
|---|---|---|---|---|
| >10 | 829 | 0.053 | 1.37 | 1.25 |
| <10 | 6831 | 0.046 | 1.16 | 1.07 |

I prEN 1993-1-1:2018 ges mer information om antagna variationer för olika stålsorter som kan antas gälla för nya stålprodukter, se 3.2.2 och tabell 3.2.

Med en variationskoefficient på 0,07 som kan tillämpas även för äldre stål blir det karakteristiska värdet som ska användas vid dimensionering ca 84-85% av värdet som fås vid en enda provning. Vid flera provningar kan det karakteristiska värdet bli några procent högre (jämfört med medelvärdet). Efter 3-4 provningar är vinster marginella.

### 5.6.3 Norska förslag

Norska Stålforbund har utvecklat rekommendationer (33) för provning av återanvänt stål som baseras på fyra olika procedurer. Vilken procedur som ska tillämpas beror på befintlig dokumentation och förväntat typ av material enligt diagram nedan.




*Figur 5.7 Val av provningsprocedur enligt norskt förslag.*

De fyra procedurer beskrivs nedan och viss kritik framförs.

<u>Procedur A: oförstörande provning</u>

Denna procedur väljs om dokumentation saknas och materialet förväntas ha en hållfasthetsklass lägre än S355.

De återanvända produkterna får endast användas i konstruktioner i utförandeklass EXC1 eller EXC2

Syftet är att tilldela det okända materialet en produktstandard som sedan kan användas vid dimensionering. Detta görs med hjälp av oförstörande hårdhetsprovning och analys av kemisk sammansättning. Alla produkter testas.

Det ställs inga krav på analysen av kemisk sammansättning, t ex vilken grundämne som ska ingå. Från figurer i rapporten verkar ett XRF-instrument användas.
Vickers hårdhetsprovning ska utföras enligt NS-EN ISO 6507 och hårdhet omvandlas till brottgräns enligt NS-EN 18265

Resultaten ska dokumenteras.

På grund av en viss osäkerhet ska sträckgränsen enligt produktstandarden reduceras med 10% vid dimensionering.

Procedur B: omfattande provning

Denna procedur väljs om dokumentation saknas och materialet förväntas ha en hållfasthetsklass upp till S355.

De återanvända produkterna får användas i konstruktioner i utförandeklass EXC2 eller EXC3, dvs de flesta normala fall.

Oförstörande provning används först för att dela in produkterna i grupper med samma material varefter förstörande provning utförs och egenskaper bestäms genom statistisk utvärdering. Det är en procedur i tre steg:

1. Oförstörande analys av kemisk sammansättning hos alla produkter

   Produkterna delas in i grupper för vilka värdena för kol och mangan har en variation på max 10 %.

2. Oförstörande hårdhetsprovning på 10 % av produkterna inom en grupp

   Om värdena varierar mer än 10 % provas alla produkter och nya grupper definieras inom vilka variationen är max 10 %.

3. Förstörande mekanisk provning

   En produkt i varje grupp utsätts för mekanisk provning (dragprov och slagseghet)

Resultaten jämförs med egenskaper i produktstandarder. Vid överensstämmelse med en standard stålsort i NS-EN 1993-1-3 tabell 3.1 kan standardvärden användas. Annars ska allmänna materialkrav i avsnitt 3.2.2, 3.2.3 och 3.2.4 samt nödvändiga krav på svetsbarhet uppfyllas. Den karakteristiska sträckgränsen bestäms med en statistisk utvärdering enligt Bilaga D i NS-EN 1990 (se 5.6.2).

Produkterna ska markeras och resultaten dokumenteras.

Från bilder i Norska rapporten verkar analysen av kemisk sammansättning göras med ett XRF-instrument. Dessa är dock inte lämpliga för mätning av kolhalten. Istället behövs en större och dyrare typ av utrustning: gnister OES. Det är okänt hur kol- och manganhalter varierar samt hur dessa variationer ligger till i förhållande till mätinstrumentens noggrannhet. Kravet på max 10 % verkar godtyckligt och skulle behöva undersökas.

Samma resonemang gäller även för hårdhetsprovning. Brottgränsen kan uppskattas med ca 10 % felmarginal (30). Därför bör antagligen en större variation tillåtas inom samma grupp.

Procedur C: tillgänglig dokumentation med full spårbarhet

Om dokumentation med full spårbarhet är tillgänglig kan denna användas efter visuell inspektion av produkterna.

Procedur D: tillgänglig dokumentation utan spårbarhet

Om dokumentation är tillgänglig som dock inte möjliggör full spårbarhet ska kemisk sammansättning hos 10 % av produkterna jämföras med värden i certifikatet för att dokumentera överenstämmelse.

Resultaten ska dokumenteras.

Kemisk sammansättning påverkar framförallt svetsbarhet och seghet men kan variera mycket lite mellan stålsorter med olika mekaniska egenskaper. Även oförstörande hårdhetsprovning borde användas i kombination med kemisk analys för att säkerställa överensstämmelse.

### 5.6.4 Diskussion och förslag på provningsprocedur

Det är mycket tveksamt att en enda provningsprocedur kan tillämpas i alla fall av återbruk. Snarare behövs flera alternativ anpassade till olika förutsättningar. Likt det Norska förslaget är det logiskt att skilja mellan konstruktioner där dokumentation om material finns och där materialet är helt okänt.

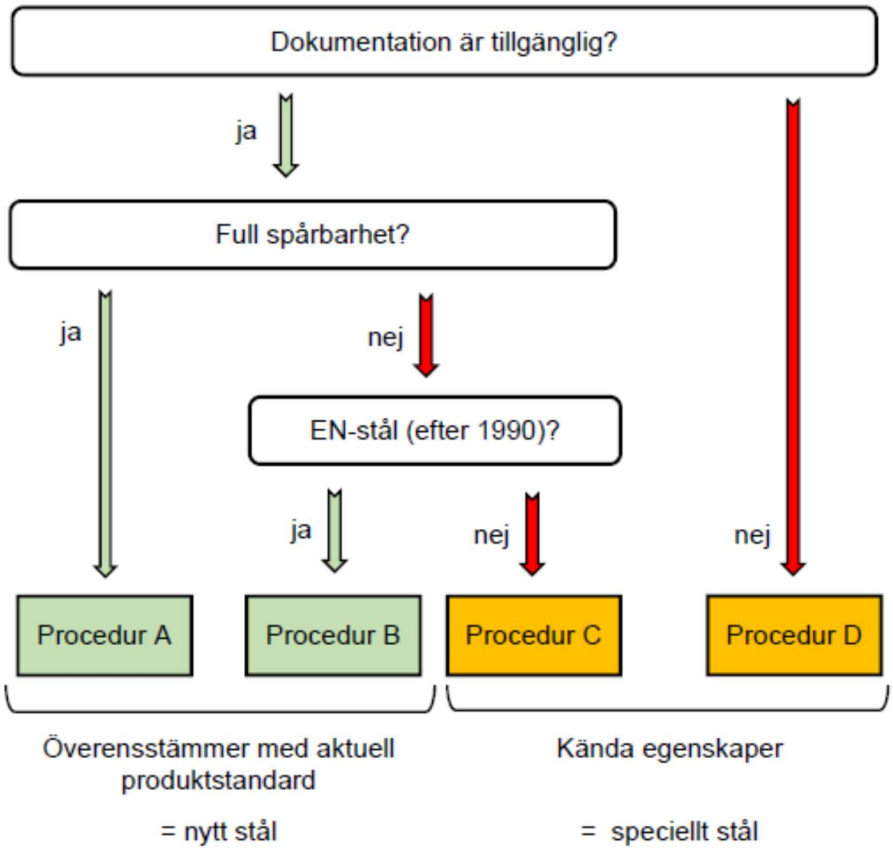
Vi delar uppfattningen att produkter med full spårbarhet kan återanvändas efter enkel visuell kontroll och kan anses vara likvärdiga nytt stål.

Om dokumentation finns med anvisningar till aktuella produktstandarder är syftet med provningsproceduren att kontrollera överensstämmelse med denna standard varpå standardiserade egenskaper kan antas och produkterna likställs nya.

Om dokumentation däremot indikerar äldre material kan produkternas överrensstämmelse med denna standard kontrolleras. Standardens egenskaper (sträck- och brottgräns) antas och tilläggsprovning utförs för att säkerställa de övriga nödvändiga egenskaperna (slagseghet, svetsbarhet). Produkten har därmed kända egenskaper som dock inte nödvändigtvis motsvarar dem från aktuella stålsorter.

Om dokumentation saknas helt behöver egenskaperna säkerställas genom provning och statistisk utvärdering.

Figur 5.8 nedan illustrerar vilken procedur som används utifrån den dokumentation som är tillgänglig och vilken stålsort som förväntas.




*Figur 5.8 Förslag på provningsprocedurer anpassade till olika förutsättningar.*

Förutsättningarna och provningsprocedurerna påverkar i förlängningen hur den återanvända produkten betraktas vid upphandling och tillverkning vilket visas i tabell 5.11 nedan. Med hjälp av procedur A och B kan tidigare information användas och produkterna likställs med nya. Vid provningsprocedurer C och D finns ingen produktstandard att hänvisa till och konstruktören behöver föreskriva egenskaper mer specifikt. Det räcker inte med bara stålsort och produktstandard.

*Tabell 5.11 Innehåll och utfall av förslagna procedurer*

<table>
<tr><th>Procedur</th><th>Konstruktören föreskriver</th><th>Intyg</th><th>Provning</th></tr>
<tr><td>A</td><td rowspan="3">EN-stål<br>(tex S355J2 enl<br>SS-EN 10025-2)</td><td rowspan="2">Initiellt 3.1</td><td>visuell</td></tr>
<tr><td>B</td><td>OFP</td></tr>
<tr><td>C</td><td rowspan="3">Specifika egenskaper<br>(sträck- och brottgräns,<br>seghet, kolekvivalent)</td><td rowspan="3">Nytt 3.1</td><td rowspan="2">OFP (inkl. OES) + 1 mekanisk provning</td></tr>
<tr><td>D</td><td>OFP (inkl. OES) + flera mekaniska provningar + statistisk analys</td></tr>
</table>

De fyra procedurerna beskrivs mer i detalj nedan.

**<u>Procedur A</u>**

Produkterna ska märkas före eller vid demontering och certifikat ska sparas.

Alla produkter ska synas för ytligt fel efter nedmontering.

**<u>Procedur B</u>**

Om dimensioner och övrig utformning överensstämmer med tillgängliga ritningar kan dokumentationen anses tillförlitlig nog och procedur B kan tillämpas. Om väsentliga avvikelser upptäcks bör däremot procedur D tillämpas.

Produkter med samma tvärsnitt och material enligt dokumentationen utgör initialt en enda testgrupp.

Oförstörande provning i form av kemisk analys (spektrometri) och hårdhetsmätning används och resultaten jämförs med standardkrav.

Gnister OES är att föredra då även kolhalten kan mätas men ett XRF-instrument kan vara tillräcklig genom att visa överenstämmelse för andra ämnen.

Provningsomfattning och lämpliga acceptanskriterier behöver utarbetas. Vid återanvändning finns tyvärr ingen information om tillverkningsprocessen och metoderna i produktstandarder kan inte tillämpas. Istället kan det finnas stöd i ISO/TR 8550-3:2007.

Om tidigare kontrollintyg saknas krävs förstörande provning av mekaniska egenskaper (dragprov och seghetsprov) och ett nytt intyg upprättas där även resultat av kemisk analys med gnister OES dokumenteras.

**<u>Procedur C</u>**

Procedur C följer samma metod som procedur B för att tilldela materialet en äldre standard.

Jämförelser mellan äldre och aktuella standarder är dock inte okomplicerade, se 3.3.3, och äldre material kan inte likställas nytt utan vidare undersökning.

Mekaniska egenskaper i äldre standarder liknar ofta dem hos nyare stål men slagseghet och svetsbarhet kan vara något sämre i äldre material och omöjliggör exakt överensstämmelse mellan stålsorter.

Mekaniska egenskaper (sträck- och brottgräns) från äldre standard antas.

Provningsomfattning och acceptanskriterier behöver utarbetas på liknande sätt som för procedur B.

Svetsbarhet dokumenteras genom att bestämma kolekvivalenten utifrån resultat från analys med gnister OES.

Slagseghet undersökas genom förstörande mekanisk provning och statistisk utvärdering.

Sträck- och brottgräns dokumenteras utifrån resultat från ett dragprov per homogent parti.

Ett nytt kontrollintyg 3.1 upprättas som innehåller resultat av förstörande provning av mekaniska egenskaper (Dragprov och seghetsprov). Även kemisk analys med gnister OES dokumenteras.

**Procedur D**

Procedur D tillämpas när materialet är helt okänt. I detta fall finns inget stöd i en standard och inga acceptanskriterier utan egenskaper måste bestämmas utifrån provningsresultat och statistisk utvärdering, vilket kräver en större andel förstörande provning.

Även indelning i testgrupper måste motiveras och kräver omtanke.

A priori kan komponenter med samma tvärsnitt och funktion utgöra en testgrupp. Denna arbetshypotes måste dock undersökas och bekräftas innan dyra förstörande provningar görs.

Samma princip som i norska procedur B kan tillämpas, dvs oförstörande provning används för att bekräfta gruppindelningen.

1. Hårdhetsprovning på alla produkter

   Om nödvändigt delas produkterna in i nya undergrupper för vilka hårdhetsvärdena håller sig inom ett visst intervall. För att bestämma nivån på detta intervall krävs information om normal variation av hårdhetsvärden och inverkan av mätmetoden (noggrannhet och spridning).

2. Analys av kemisk sammansättning hos en andel produkter inom samma referensgrupp med gnister OES

   Om sammansättningen skiljer sig för mycket ska alla produkter inom testgruppen undersökas och nya undergrupper definieras. Å andra sidan kan grupper med liknande hårdhetsvärden och kemisk sammansättning slås ihop till en större grupp inför förstörande provning.

   För att bestämma lämpliga acceptanskriterier behövs mer information om vanliga ämneshalter och deras variation samt inverkan av mätmetoden (noggrannhet och spridning).

   Kolekvivalenten dokumenteras.

3. Förstörande provning (dragprov och slagseghet)

   Minst ett dragprov per testgrupp utförs. Fler än tre till fyra provningar är onödiga. Resultaten utvärderas enligt SS-EN 1990 Bilaga D för en lognormal fördelning med en variation på 0,07 (se 5.6.2)

   Även slagseghet och brottförlängning dokumenteras.

# 6 Slutsatser

## 6.1 Inga formella hinder

Efter en gedigen analys av gällande och kommande regelverk för dimensionering och utförande av stålkonstruktioner är vår bedömning att det inte finns formella juridiska hinder för återbruk av stålkomponenter.

SS-EN 1993-1-1 öppnar för användning av andra stålsorter och detta förtydligas i kommande versionen prEN 1993-1-1. Det svenska nationella valet angående material i Boverkets föreskrifter behöver dock omformuleras för att förhindra fel tolkningar.

När det gäller utförande anses ofta kravet på CE-märkning motverka återbruk. Formellt ställer dock SS-EN 1090-2 och Boverkets EKS endast krav på kända egenskaper för ingående produkter som bearbetas i verkstad. Ett kontrollintyg med provningsresultat är därmed tillräckligt för återanvända produkter och den färdiga komponenten som levereras till byggplatsen kan CE-märkas på vanligt sätt.

AMA och RA Hus 18 tillåter återanvända konstruktionselement i ej utmattningsbelastade konstruktioner men råder att ange om återanvända element generellt inte godtas. Tyvärr misstolkas detta råd och ofta föreskrivs att ”återanvända element godtas inte”. Detta var inte avsikten med dessa texter i AMA och RA Hus och de bör därför ses över och omformuleras så att de inte blir ett onödigt hinder för återanvändning av stål.

## 6.2 Provningsprocedurer kan optimeras med oförstörande provningsmetoder

Vi undersökte två typer av oförstörande provningsmetoder: hårdhetsmätning för brottgränsen och portabla spektrometer (OES och XRF) för analys av kemisk sammansättning.

Hårdhetsmätning är mycket enkel och ger konsekventa resultat med liten spridning. Hårdheten och brottgränsen varierar dock mycket inom samma stålsort. Metoden är därmed inte lämplig för positiv materialbestämning. Den kan dock användas för att snabbt dela in produkter i homogena materialgrupper och minska omfattningen av förstörande provning.

Analys av kemisk sammansättning är mycket enkel med XRF-instrument. Denna metod kan användas vid grov sortering eller analys av färger. Kolhalten kan dock inte analyseras och metoden är olämplig om tidigare information om stålets svetsbarhet inte är tillgänglig.

OES-instrument är större och dyrare än handhållna XRF-instrument men de kan analysera alla grundämnen som ingår vid beräkning av kolekvivalenten. Metoden tillåts som ”routine method” vid tillverkning och erbjuder snabba och tillförlitliga svar.

Oförstörande provningsmetoder kan inte ersätta förstörande provning i alla lägen men kan med fördel ingå i anpassade provningsprocedurer där antalet tidskrävande och kostsamma förstörande provningar begränsas.

Vid återanvändning av EN-stål där dokumentation är tillgänglig räcker oförstörande provningar för att bekräfta överensstämmelse med produktstandarden.

För äldre stål eller där dokumentation saknas kan oförstörande provning användas för att dela in produkter i företrädesvis stora materialgrupper. Kemisk analys kan utföras i fält med OES och mekaniska egenskaper determineras slutligen genom förstörande provning.

Provningsprocedurer har föreslagits, men fler undersökningar och ett större statistiskt underlag krävs för att bl a bestämma provningsomfattningar.

## 6.3 Miljöincitament behöver förstärkas

Det bästa argumentet för återbruk är den lägre miljöpåverkan som alltmer efterfrågas.

Det finns många miljöcertifieringssystem för bedömning av byggnaders prestanda men att påverka deras utformning är orimligt.

Ofta baseras bedömningen på en livscykelanalys som kräver tillförlitlig indata. Mer och mer används och krävs miljövarudeklarationer (*Environmental Product Declaration* EPD). Det behöver undersökas hur miljövarudeklarationer kan tillämpas för återanvänt stål.

Även ansvarsfull materialanskaffning kan vara en konkurrensfördel vid återbruk. Kan en kvalitetsmärkning utvecklas för återanvända produkter?

## 6.4 Demontering behöver uppmuntras

Formella och praktiska hinder för återbruk är överkomliga men för att det ska bli vanligare krävs en större tillgång på återanvända produkter. Värdet hos inbyggda komponenter bör uppmärksammas mer så att demontering väljs framför rivning när detta är möjligt och befogat ur ekonomisk synpunkt.

Rivningsplanen kan bli ett effektivt styrmedel för utökat återbruk genom att föreskriva en undersökning med hänsyn till återanvändbara komponenter.

Hjälpmedel i form av t ex checklistor kan utvecklas för att bedöma återanvändbarheten ur ekonomisk synpunkt (vid prospektering) varvid ett beslut tas mellan återbruk eller återvinning. Först kommer de mest fördelaktiga objekt att återanvändas men med ökande erfarenhet och förbättringar kan fler och fler bli ekonomiskt fördelaktiga. I större skala kan framförallt provningskostnader minska drastiskt.

## 6.5 Fortsatt arbete

Denna förstudie var ett första steg som visar på möjligheten att uppnå en större grad av återanvändning inom stålbyggandet. Här följer några förslag på fortsatt arbete:

- Omformulera kap 3.1.1 3§ i EKS

  ”Andra stålsorter kan också användas förutsatt att deras materialegenskaper är kända och uppfyller kraven i SS-EN 1993-1-1 angående duktilitet, brottseghet och egenskaper i tjockleksriktningen.”

- Omformulera råd under rubriken Återanvänt stål i GSM.1, GSM.2 och HSB.1 i RA Hus 18

  ” Återanvända stålelement kan användas i konstruktioner som inte är utmattningsbelastade förutsatt att stålmaterialets egenskaper kan styrkas med ett tillämpligt intyg i enlighet med BFS 2015:6 – EKS 10 och SS-EN 1090-2.

  Exempel på konstruktioner som inte är utmattningsbelastade är bärverk i normala hus- och kontorsbyggnader och bärverk i hallbyggnader exklusive traverskranbanor.

  Ange om återanvända element generellt inte godtas.”

- Omsätta resultaten och följa utvecklingen

  Resultaten av denna förstudie bör spridas och omsättas i praktiken genom tex pilotprojekt där bl a provningsprocedurer utvärderas i skarpt läge.

  Även utfall av andra pågående projekt så som BAMB och PROGRESS samt standardiseringsarbete (EPD, återanvändbarhet) behöver uppmärksammas.

- Utveckla provningsprocedurer

Acceptanskriterier och provningsomfattningar behöver definieras baserat på mer omfattande undersökningar och statistiska analyser.

- Undersöka möjlighet att upprätta miljövarudeklarationer för återanvänt stål

  Vilka alternativ finns för att deklarera miljöegenskaper hos återanvända produkter?

- Utveckla en prospekteringsmetodik

  Efterfrågan och värdet på produkterna måste uppskattas tidigt och ställas mot extra kostnader för demontering och rekonditionering. Detta utgör en grund för riskanalys och beslutsfattning i samband med rivning och driver på en ökad tillgång av återanvända produkter.

# Bilaga A Fallstudier

Parkwood residences, Oshawa, Kanada (20) (21)

Två statliga kontorsbyggnader från 1970-talet byggdes om plats till bostäder. Återanvändning av de befintliga byggnaderna övervägdes eftersom rivning ansågs problematisk. De nya byggnaderna utformades utifrån de befintliga konstruktionerna. Då nyttiga laster är större i kontorsbyggnader än i bostäder var de bärande konstruktionerna tillräckligt starka. Efter demontering behölls stålstommen och bjälklagen med mindre anpassningar och två nya våningar adderades.

Kostnaderna uppskattas vara 10-15% mindre än vid nybyggnation.

*Figur A. 1 Parkwood Residences, Oshawa*

La Cuisine, Winnipeg Folk Festival, Kanada (20)

Ett storkök och lagerbyggnad som används under Winnipeg Folk Festival.

Byggnaden utformades utifrån tillgängliga komponenter från närliggande byggnader. Dessa komponenter köptes tidigt till en kostnad motsvarande 10 % av nypris och transporterades direkt till byggplatsen. Mindre anpassningar gjordes på plats men den gamla ytbehandlingen behölls. Ungefär hälften av tunnplåten är återanvänt och andra hälften är från nya överblivna partier.

Projektet lyckades tack för en projektledning med tidigare erfarenhet (Gerry Humphreys, Milestone Project Management), tydligt miljöintresse från kunden och en integrerad process med engagemang och bra kommunikation mellan aktörerna.

Totalkostnad: 650 $/m$^2$

*Figur A. 2 La Cuisine, Winnipeg Folk Festival*

Big Dig House, USA (20)

Bostadshus byggt runt element från en tillfällig motorvägsbro vid ett stort infrastrukturprojekt i Boston, USA.

Bjälklagselementen skulle deponeras och inhandlades grattis. Trots förhållandevis stora kostnader för ett enbostadshus uppskattas besparingar till 30% av kostnaderna för den bärande konstruktionen.

Flera liknande byggnader kunde ha byggts vilket hade sparats stora kostnader för avfallshantering.

*Figur A. 3 Big Dig House, USA*

University of Toronto Scarborough Campus Student Centre (21)

Kunden följde LEED system med krediter för återanvändning av resurser samt innovativ design, och hade därmed ett intresse att återanvända stål.

Det var dock svårt att identifiera potentiella källor till återanvänt stål i tillräckligt stora mängder.

Till slut hittades ett ombyggnationsprojekt i närheten där samma konstruktör medverkade. Konstruktionsritningar var tillgängliga vilket gjorde provning av materialet onödig.

Rekonditionering blev enkel men osäkerheten kring tillståndet av återanvända element gjorde det svårt att lämna ett pris vid upphandling.

16 av 300 ton stål i den bärande konstruktionen var återanvänt och extra kostnader för demontering och rekonditionering motsvarade ungefär kostnader för nytt stål.

*Figur A. 4* University of Toronto Scarborough Campus Student Centre

Mountain Equipment Co-op, Ottawa (21)

Mountain Equipment Co-op är ett kanadensiskt företag som säljer friluftsartiklar med en tydlig miljöprofil och deras butiker följer strikta gröna designprinciper.

När butiken i Ottawa byggdes återanvändes 75 % av den befintliga 40 år gamla handelsbutik, inklusive stålstommen. Konstruktionen demonterades och komponenterna märktes för spårbarhet. Provning var inte nödvändig då konstruktionsritningar var tillgängliga.

De tillgängliga komponenterna låg till grund för utformningen av den nya byggnaden men stommen är en kombination av nytt och återanvänt stål.

Den okonventionella aspekten av projektet med större osäkerhet försvårade anbudsskedet och lede till höga priser.

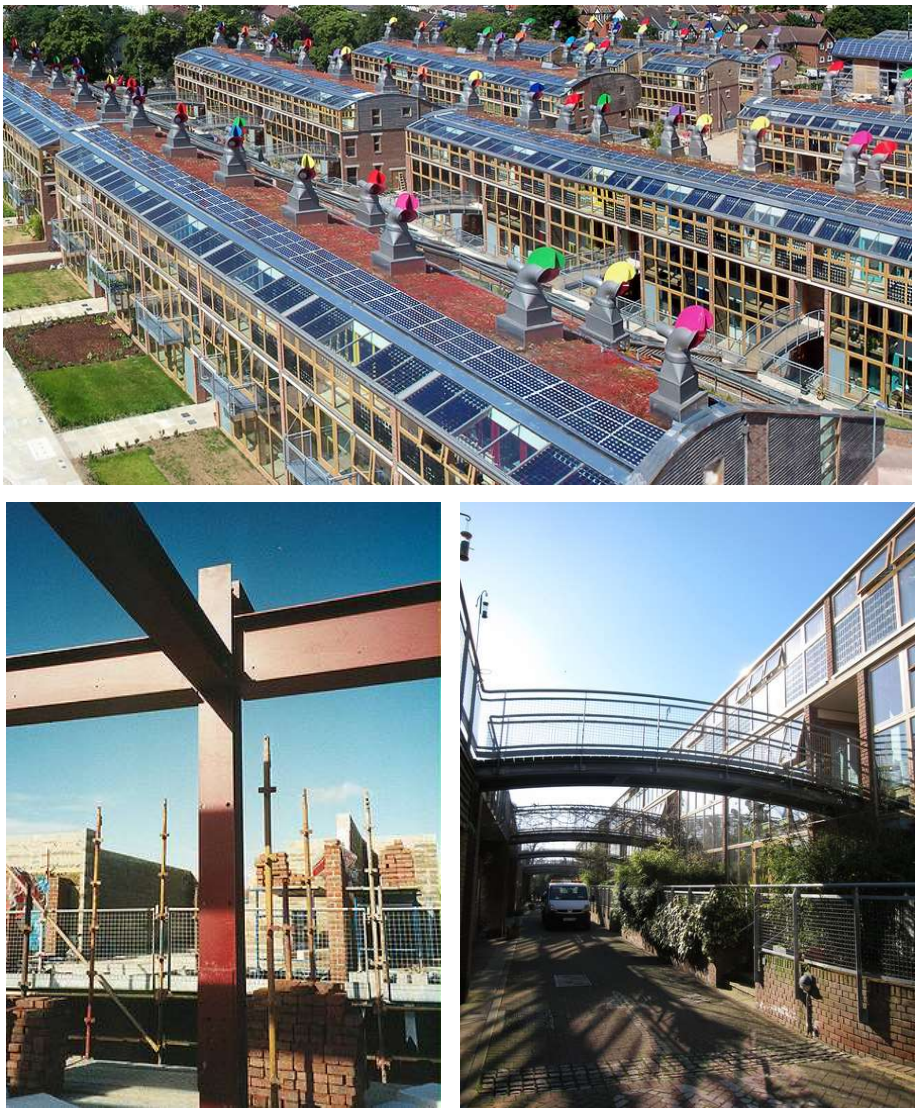
En integrerad designprocess med deltagande av alla yrkeskårer bidrog starkt till framgångarna.

*Figur A. 5* Mountain Equipment Co-op, Ottawa

Beddington Zero Energy Development (BedZED), London (21)

BedZED är ett ekoprojekt i södra London som blandar bostäder och arbetsplatser på 8500 $m^2$. Murverk är dominerande men 95 % av totalt 100 t konstruktionsstål är återanvänt, varav merparten kommer från Brighton tågstation i närheten. Stålet lagrades av rivningsföretaget. Utformningen påverkades marginalt pga återanvändning. Eftersom vanliga standardkomponenter användes kunde egenskaperna tas från historiska data.

Projektet utfördes som delad entreprenad med hjälp av en projektledare.



*Figur A. 6* BedZED, London

Angus Technopôle, Montréal (21)

En gammal lokfabrik från 1905 som skulle rivas omvandlades till en modern företagsby efter att arkitekter insåg värdet hos den historiska byggnaden. De stora ytorna möjliggjorde en flexibel utformning av den nya byggnaden. Ca 85 % av konstruktionen är återanvänd och det har varit viktigt att behålla och synliggöra estetiken från den nitade konstruktionen.

Bra data om befinnande strukturer är viktig. Det är farligt att lita på äldre ritningar och mätningar i fält behövdes.

*Figur A. 7* Angus Technopôle, Montréal

740 rue Bel-Air, Montréal (21)

Gamla kontaminerade industribyggnader från 1851 och framåt demonterades för återanvändning på plats och i andra projekt.

15 000 $m^2$ kontors- och lagerlokaler byggdes nytt för statliga myndigheter där målet var att klara guldnivån i LEED systemet.

Demontering tog mer tid än vanlig rivning men inkomster från försäljning av återanvända komponenter täckte de extra kostnaderna. Lagring kräver mycket plats och var ett problem. Intensiv hantering och lång lagringstid (2 år) ledde till skador. 15% av fackverksbalkarna kasserades.

Projektet delades in i tre faser (demontering, sanering och nybyggnation) och vissa problem uppstod pga oklarheter i ansvarsfördelning mellan aktörer.

Efter visuell inspektion kontrollerades fackverksbalkar med X-ray och kemisksammansättning analyserades. Elementen blästrades och målades. Dimensionerna var inte enhetliga och viss anpassning krävdes i verkstad och på plats.

Även tunnplåtsdetaljer återanvändes inomhus.

*Figur A. 8* Återanvända fackverksbalkar, 740 rue Bel-Air, Montreal

BMW Sales and Service Center, Toronto (21)

En stålstomme från 1960-talet återanvändes på plats när den befintliga fabriksbyggnaden omvandlades till en ny bilhall och servicecenter. Återanvändning var nödvändig eftersom nya regler förbjöd nybyggnation på samma plats

Viss dokumentation var tillgänglig men inte fullständig. Stålets tillstånd kontrollerades visuellt och med hjälp av dragprov.

Stommen förstärktes för att ackommodera en glasfasad och nya laster samt uppfylla dagens krav vid jordbävning. Trots omfattande anpassning var återanvändning en ekonomisk lösning och projekttiden var kort.

*Figur A. 9 BMW Sales and Service Center, Toronto*

Roy Stibbs Elementary School, Kanada (21) (20)

Skolbyggnad utformad kring stålstommen från en tidigare skola på annan ort.

Roy Stibbs skolan nära Vancouver är byggd med en nästan ny stålstomme från en nedlagd skola i gruvstaden Cassiar, norra British Columbia.

Arkitektbyrån som anlitades var inblandad i båda projekt och visste att stålstommen fanns och det krävdes endast visuell inspektion för att säkerställa tillståndet. Återanvändning av stommen var framförallt motiverad av ett behov för snabb återuppbyggnad av den tidigare nedbränd skola.

Snölaster i Vancouver är mycket mindre än i Cassiar men jordbävningslaster var däremot större vilket krävde en del förstärkningar. Trots detta kunde skolan byggas i endast 7 månader.

Totalt återanvändes 270 t betong och stål. Stålkonstruktionen är återanvänd till 75%.

*Figur A. 10* Roy Stibbs Elementary School, Kanada

# Bilaga B Miljöcertifieringssystem

**Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)**

LEED är en internationell standard som utvecklades av U.S. Green Building Council i 1999. Det är det mest spridda miljöcertifieringssystemet i världen.

Certifieringssystemet bygger på ett antal kriterier grupperade i huvudkategorier. Förutom vissa grundkrav som ska uppfyllas av alla projekt tilldelas varje ytterligare kriterium ett antal poäng och summan av alla poäng ger ett slutbetyg som omvandlas till en av fyra certifieringsnivåer enligt figuren nedan.

*Figur B. 1 LEEDs fyra certifieringsnivåer*

Systemet anpassas till fyra projekttyper:

- *Building Design and Construction* (BD+C);
- *Interior Design and Construction* (ID+C);
- *Building Operations and Maintenance* (O+M), och;
- *Neighborhood Development* (ND).

Inom varje projekttyp anpassas sedan kriterierna efter byggnadens användningsområde, tex skola, sjukhus od.

Återanvändning av stålkomponenter kan ge poäng framförallt vid nybyggnation eller renovering av bärande konstruktioner, dvs projekttyp BD+C.

Senaste versionen är LEED v4 (2018-07-02) där följande miljökategorier bedöms i BD+C projekt:

- *Location and Transportation* (LT)
- *Sustainable Sites* (SS)
- *Water efficiency* (WE)
- *Energy and Atmosphere* (EA)
- *Materials and Resources* (MR)
- *Indoor Environmental Quality* (EQ)
- *Innovation and Design Process* (IN)
- *Regional Priority* (RP)

Många kriterier kan påverkas av materialvalen indirekt. Återanvänt stål har dock en direkt påverkan på två kriterier relaterade till *Materials and Resources* (MR):

- *MR: Building Life Cycle Impact Reduction*

Detta kriterium kan ge mellan 2 och 6 poäng beroende på typ av byggnad och strategi.

Vid varsam återanvändning av kulturhistorisk byggnad eller renovering av övergiven byggnad fås 5 eller 6 poäng för *New Construction* respektive *Core & Shell*. Vid renovering ska minst 50% av arean behållas. Upp till 25% byggnadsarea kan uteslutas från beräkningen pga förfall eller skada.

Återanvändning av byggnad eller material kan ge mellan 2 och 5 poäng beroende på omfattning, se tabell nedan.

*Tabell B. 1 Poäng för återanvändning*

| Andel av byggnadsarea | Poäng | |
|---|---|---|
| | New Construction | Core & Shell |
| 25% | 2 | 2 |
| 50% | 3 | 3 |
| 75% | 4 | 5 |

Dessa poäng kan inte kombineras med poäng från *Sourcing of Raw Materials*, se nedan.

Till slut kan en livscykelanalys av hela byggnaden ge 3 poäng om miljöpåverkan visar sig vara minst 10% mindre än för en vanlig byggnad av samma sort. Återanvänt stål kan bidra till att uppnå detta mål.

I Sverige är detta kriterium prioriterat och en extra bonuspoäng kan erhållas vid minst 2 poäng för *Building Life Cycle Impact Reduction*. Notera dock att bonuspoäng begränsas till max 4 av 6 möjliga.

- *MR: Building Product Disclosure and Optimization – Sourcing of Raw Materials*

Option 2 ger 1 poäng om minst 25 % av materialvärdet utvinns på ansvarsfullt sätt. Återbruk ingår i denna kategori och stålkomponenter har ett relativt högt värde.

I kategorin *Innovation and Design Process* (IN) ges poäng till innovativa idéer som inte täcks av övriga kriterier eller vid föredömlig prestanda som överträffar kraven från andra kriterier. Detta behöver bedömas från fall till fall och är därför ett osäkert incitament.

**Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)**

BREEAM är ett miljöcertifieringssystem som utvecklades i Storbritannien av Building Research Establishment (BRE). Det är det mest spridda internationella system i Europa. Sweden Green Building Council ansvarar för en svensk version, BREEAM-SE, anpassad till nationella förutsättningar.

Senaste version är BREEAM-SE Nybyggnad 2017 som bedömer byggnaders prestanda inom 10 miljöområden enligt tabellen nedan. Områdenas betydelse för den samlade bedömningen varierar något beroende på typ av projekt. Varje miljöområde delas in i sk indikatorer som ger poäng utifrån prestandanivåer.

*Tabell B. 2 Miljöområde och dess viktning och tillgängliga poäng för BREEAM-SE*

| Miljöområde | Viktning | Tillgängliga poäng |
|---|---|---|
| Ledning och styrning | 9,47-11,36 % | 23 |
| Hälsa och välmående | 13,40-17,71 % | 21 |
| Energi | 16,43-19,47 % | 26 |
| Transport | 6,79-9,23 % | 9 |
| Vatten | 1,76-4,41 % | 9 |
| Material | 16,73-18,76 % | 14 |
| Avfall | 7,29-9,23 % | 8 |
| Markanvändning och ekologi | 9,84-13,19 % | 10 |
| Föroreningar | 5,27-8,83 % | 12 |
| Innovation (tillägg) | 10 % | 10 |

Slutligen kombineras poängen från alla miljöområden och byggnaden tilldelas en betygsnivå enligt tabellen nedan.

*Tabell B. 3 Betygsnivåer för BREEAM-SE*

| BREEAM-SE betygsnivåer | %-poäng |
|---|---|
| Outstanding | ≥ 85 |
| Excellent | ≥ 70 |
| Very good | ≥ 55 |
| Good | ≥ 45 |
| Pass | ≥ 30 |
| Unclassified | < 30 |

Följande indikatorer är relevanta för återanvänt stål:

- *Mat 03 Ansvarsfull anskaffning av byggvaror*

Syftet med denna indikator är att främja föreskrivande och inköp av byggvaror som anskaffas på ett ansvarsfullt sätt. Systemet baseras på RSCS-certifiering (Responsible Sourcing Certification Scheme) och certifikat för miljöledningssystem (EMS), där godkända källor ges olika betyg. Ett komplicerat beräkningsverktyg används sedan för att ge en samlad bedömning och slutbetyget beror på procenttal för ansvarsfull anskaffning enligt tabellen nedan.

*Tabell B. 4 Antalet poäng för ansvarsfull anskaffning av byggvaror*

| Poäng för ansvarsfull anskaffning | Procentantal för ansvarsfull anskaffning |
|---|---|
| 4 (inkl. 1 poäng för innovation) | ≥ 52 |
| 3 | ≥ 36 |
| 2 | ≥ 20 |
| 1 | ≥ 10 |

Produkter som återanvänds på plats ges högsta möjliga antal poäng enligt *Guidance Note GN18* (V3.1 January 2018). Men återanvänt stål som rekonditioneras på annan ort saknas all form av certifikat och värderas tyvärr inte i detta system.

- *Mat 06 Materialeffektivitet*

I bedömningskriterier till denna indikator ingår att föredra material med högre nivå av återvunnet innehåll och återanvända rivningsavfall. Detta stannar dock på en principiell nivå utan krav på minst andel återvunnet material tex och endast en poäng tilldelas denna indikator.

Återanvändning av stålkomponenter främjas inte av BREEAM-SE 2017 trots att två indikatorer kunde tillämpas. Ansvarsfull anskaffning (Mat 03) erkänns inte pga brist på certifikat och materialeffektivitet (Mat 06) ges ytterst lite vikt i den samlade bedömningen.

Jämförelsevis kan nämnas att återvunnen ballast ges en egen indikator (Wst 02) och en poäng vid minst 25% återvunnen ballast i vikt eller volym. En ytterligare poäng för innovation ges vid minst 50% återvunnen ballast som hämtas i närheten.

Norsk Stålforbund föreslog en ändring av BREEAM-NO 2016 där en poäng tilldelas vid minst 25% återvunnet material (i vikt eller volym) i lastbärande konstruktioner (33). Formuleringen var mycket tydlig och enkel att tillämpa men avslogs tyvärr av BREEAM i Storbritannien.

Ett annat alternativ för att främja återbruk utan att ändra BREEAMs struktur med nya indikatorer vore att anpassa reglerna för indikatorn Mat 03 så att även återvunna stålkomponenter tilldelas poäng.

Och mer långsiktigt kan även godkända certifikat utvecklas för återanvända produkter som har rekonditionerats.

**Miljöbyggnad**

Miljöbyggnad är ett svenskt miljöklassningssystem som sköts av Sweden Green Building Council (SGBC) (37). Det är ett av de vanligaste certifieringssystemen i Sverige där byggnader kan få följande betyg:

- Brons;
- Silver, och;
- Guld.

Systemet bedömer energi (användning, behov och energislag), innemiljö samt material och kemikalier (förekomst, dokumentation och utfasning av farliga ämnen). Betyget baseras på totalt femton kriterier.

Kriteriet nr 15 ”*Stommen och grundens klimatpåverkan*” syftar bla till att premiera åtgärder som minskar stommens och grundens klimatpåverkan. Återanvänt stål är en åtgärd som kan minska miljöpåverkan drastiskt.

Kriteriet nr 15 används dock ihop med andra kriterier för bedömning av material och kemikalier som i sin tur ingår i slutbetyget. Högsta betyget kan uppnås med enklare åtgärder som berörs av kriterier nr 13 och 14.

**Svanen**

Svanen är en frivillig officiell miljömärkning som används inom Norden (Danmark, Finland, Island, Norge och Sverige). Småhus, flerbostadshus och byggnader för skola och förskola kan svanenmärkas.

Certifieringssystemet baseras på obligatoriska krav (O+nummer) och poängkrav (P+nummer). Svanenmärkning beviljas om alla obligatoriska krav uppfylls och ett visst antal poäng erhålls, enligt tabellen nedan.

*Tabell B. 5 Poängkrav för svanenmärkning (v3.5)*

| Byggnadstyp | Poängkrav |
|---|---|
| småhus | 16 av 42 |
| flerbostadshus | 17 av 44 |
| Förskola och skola | 15 av 39 |

I gällande version (v3.5, 2018) ingår poängkrav P12 Återvunnet eller återanvänt material i byggprodukter. För varje kategori av byggprodukt utanför ångspärren (dvs byggprodukter som inte används inomhus) som består av minst 25% återvunnen råvara ges 1 poäng per kategori. Maximalt kan 3 poäng uppnås.

Nya stålprodukter med hög andel återvunnet material undantas men återanvända produkter kan tilldelas poäng om de inte innehåller något av följande ämnen i en halt > 100 ppm:

- halogenerade flamskyddsmedel
- kortkedjiga (C10-C13) och mellankedjiga (C14-C17) klorparaffiner
- kadmium, bly, kvicksilver, krom VI och arsenik samt föreningar av dessa ämnen.

**Level(s)**

Level(s) är ett frivilligt deklarationssystem som utvecklats av EU-kommissionen och bygger på sex målområden. Verktyget publicerades 2017 och befinner sig i en tvåårig testfas.

Återbruk av stålkomponenter bidrar till två av målen: minskning av koldioxidutsläpp över byggnadens livscykel samt resurseffektivitet och cirkulära materialflöden.

# Bilaga C Kontrollintyg

ArcelorMittal Tubular Products Lexy
100 rue du Maréchal Foch
54720 LEXY
Tel. +33 3 82 25 22 25 – Fax. +33 3 82 25 22 01

ArcelorMittal

CUSTOMER No.
21.938

BE GROUP SWEDEN AB
BARLASTGATAN 10, LINDÖ
603 85-Norrköping
SUÈDE
TEL.: 0046317422820
SE556106217401

## QUALITY CERTIFICATE

**TYPE 3.1 EN 10204**

| CERTIFICATE No. | SHEET | DATE |
|---|---|---|
| 2617/18 | 4 | 6/09/18 |

| DEL. No. | CUSTOMER ORDER No. | ORDER No. |
|---|---|---|
| 3169/18 | 209108-1 | 1578/18 |

| STEEL GRADE | STANDARD |
|---|---|
| S-355-J2H | EN 10219 |

| DEL. No. | DESCRIPTION | N° A.C. | BARS | BDL | MTS. | KG. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | CU NE 100x100x5x12000 | | 64 | 4 | 768 | 10.520 |

| BUNDLE | PRODUCTION DATE | CAST No. | MAN. No |
|---|---|---|---|
| 50L0618PT077697 | 10/7/18 | 864704878385 | 2014270 |
| 50L0618PT077698 | 10/7/18 | 864704878385 | 2014270 |
| 50L0618PT077699 | 10/7/18 | 864704878385 | 2014270 |
| 50L0618PT077700 | 10/7/18 | 864704878385 | 2014270 |

| CAST No. | % C | % MN | % P | % S | % SI | % AL | % CR | % MO | % V | % CU | % TI | % NI | % NB | % N | % B | % SN | %CEQ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 864704878385 | 0,160 | 1,260 | 0,014 | 0,006 | 0,010 | 0,032 | 0,022 | 0,002 | | 0,010 | | 0,016 | 0,011 | 0,004 | | | 0,375 |

| | TENSILE TEST (T° + 20°C) | | | | IMPACT TEST | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CAST No. | RE (MPA) | RM (MPA) | A | HRB | R1 (J) | R2 (J) | R3 (J) | AV.IMPT. | TEMP °C |
| 864704878385 | 516,000 | 524,000 | 25,000 | | | | | | |

**REMARKS:**

CE 0333 07 DoP EN10219 S0

Thierry NICOLAS
Quality Manager

**We certify that the delivered products comply with the requirements.**
**NDT by Eddy current testing according to EN10246-3 E4 conform on 100% length.**

Voir conditions générales de vente au verso

PEINER TRÄGER
Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe

**Abnahmeprüfzeugnis 3.1**
**Inspection certificate 3.1**
**DIN EN 10204**
(A02)

Nr./No. (A03) **774864**
Seite/Page 1/4
Datum/Date 26.04.2018

Nr. (A07) 200563-1 27.03.2018 Nr. (A07)
Besteller / Purchaser (A06): BE Group Sverige AB, 60006 NÖRRKÖPING, SCHWEDEN
Verbraucher / Consumer: BE Group Sverige AB, 60006 NÖRRKÖPING, SCHWEDEN

Erzeugnis / Product (B01): Warmgewalzter Profilstahl gem. EN 10365
Hot rolled sections acc. to EN 10365

Werksauftrags-Nr. / Works order No. (A08): 0000439138

Lieferschein-Nr. / Dispatch note No.: 0087542710
25.04.2018

Werkstoff und Lieferbedingung / Steel grade and terms of delivery (B02–B03): EN10025-2-S355J2+AR
EN 10025-2:2004
Zum Verzinken: Si 0,15-0,25 %

Abnahme / Inspection (A05): WS

## Materialdaten / Material data (B01–B99)

| Pos. Item | Schmelzen-Nr. Heat No. (B07) | Anzahl Quantity (B08) | Lieferzustand Cond. of delivery (B04) | Erzeugnis Product (B07) | Länge Length (B05–B11) mm | Gewicht Weight (B12) kg kgs |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 04 | 78073 | 36 | AR | HEA120 | 14100 | 10.102 |
| 06 | 35313 | 2 | AR | HEA280 | 12100 | 1.848 |
| 06 | 36981 | 7 | AR | HEA280 | 12100 | 6.468 |
| 06 | 37800 | 2 | AR | HEA280 | 12100 | 1.848 |
| 06 | 37802 | 1 | AR | HEA280 | 12100 | 924 |
| Σ | | 48 | AR: wie gewalzt / as rolled | | | 21.190 |

Maßprüfung und Sichtkontrolle auf äußere Beschaffenheit: ohne Beanstandung
Dimensional check and visual examination of the surface condition: without objection

## Schmelzenanalyse / Ladle analysis (C70–C99)

| Schmelzen-Nr. Heat No. (B07) | C % ≤0,20 | Si % 0,15–0,25 | Mn % ≤1,60 | P % ≤0,030 | S % ≤0,030 | N % | Al % ≤0,300 | V % ≤0,10 | Nb % ≤0,06 | Ti % ≤0,05 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35313 | 0,16 | 0,17 | 1,13 | 0,012 | 0,003 | 0,010 | 0,007 | 0,03 | 0,00 | 0,00 |
| 36981 | 0,16 | 0,18 | 1,15 | 0,013 | 0,013 | 0,009 | 0,016 | 0,03 | 0,00 | 0,00 |
| 37800 | 0,16 | 0,17 | 1,15 | 0,014 | 0,010 | 0,009 | 0,012 | 0,03 | 0,00 | 0,00 |
| 37802 | 0,16 | 0,19 | 1,16 | 0,013 | 0,007 | 0,010 | 0,012 | 0,03 | 0,00 | 0,00 |
| 78073 | 0,09 | 0,18 | 1,20 | 0,015 | 0,007 | 0,011 | 0,009 | 0,05 | 0,00 | 0,00 |

| Schmelzen-Nr. Heat No. (B07) | Cu % ≤0,55 | Cr % ≤0,30 | Ni % ≤0,30 | Mo % ≤0,08 | EV1 1) % ≤0,45 |
|---|---|---|---|---|---|
| 35313 | 0,28 | 0,09 | 0,12 | 0,02 | 0,40 |
| 36981 | 0,23 | 0,12 | 0,13 | 0,03 | 0,41 |
| 37800 | 0,26 | 0,12 | 0,16 | 0,04 | 0,42 |
| 37802 | 0,24 | 0,14 | 0,18 | 0,04 | 0,42 |
| 78073 | 0,34 | 0,14 | 0,18 | 0,03 | 0,37 |

1) EV1: CEV=C+Mn/6+Mo/5+Ni/15+Cr/5+V/5+Cu/15

Es wird bestätigt, daß die Lieferung den Anforderungen der Lieferbedingung entspricht.
We hereby certify that the delivered material complies with the terms of the order.
(201)

Herstellerzeichen / Trademark (A04)

Peiner Träger GmbH
Gerhard-Lucas-Meyer-Str. 10
D-31226 Peine
(A01)

CE

Abnahmebeauftragter / Inspection Representative (202)
Link

Diese durch ein geeignetes Datenverarbeitungssystem erstellte Bescheinigung ist gemäß EN 10 204, Abschnitt 5, ohne Unterschrift gültig.
This certificate was prepared by a suitable data processing system and is valid without signature according to EN 10 204, section 5.

PEINER TRÄGER
Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe

**Abnahmeprüfzeugnis 3.1**
**Inspection certificate 3.1**
**DIN EN 10204**
(A02)

Nr./No. (A03) **774864**
Seite/Page 2/4
Datum/Date 26.04.2018

Nr. (A07) 200563-1 27.03.2018
Besteller / Purchaser (A06): BE Group Sverige AB, 60006 NORRKÖPING, SCHWEDEN

Nr. (A07)
Verbraucher / Consumer: BE Group Sverige AB, 60006 NORRKÖPING, SCHWEDEN

Erzeugnis / Product (B01): Warmgewalzter Profilstahl gem. EN 10365
Hot rolled sections acc. to EN 10365

Werkauftrags-Nr. / Works order No. (A08): 0000439138

Lieferschein-Nr. / Dispatch note No.: 0087542710 / 25.04.2018

Werkstoff und Lieferbedingung / Steel grade and terms of delivery (B02–B03): EN10025-2-S355J2+AR
EN 10025-2:2004
Zum Verzinken: Si 0,15–0,25 %

Abnahme / Inspection (A05): WS

Stahlherstellung: Elektroverfahren
Steel making: Electric process
(C70)

## Zugversuch / Tensile test (C10–C29)

| Schmelzen-Nr. Heat No. (B07) | Erzeugnis Product (C00) | Ort Location (C01) 1) | Richt. Direct. (C02) 2) | Form Type (C10) 3) | Streckgrenze Yield point (C11) ReH N/mm2 ≥ 355 | Zugfestigkeit Tensile strength (C12) Rm N/mm2 470 – 630 | Bruchdehnung Elongation (C13) A5 4) % ≥ 22 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35313 | HEA280 | FL | L | P | 461 | 576 | 28 | | |
| 36981 | HEA280 | FL | L | P | 476 | 582 | 29 | | |
| 37800 | HEA280 | FL | L | P | 460 | 571 | 29 | | |
| 37802 | HEA280 | FL | L | P | 457 | 577 | 29 | | |
| 78073 | HEA120 | FL | L | P | 426 | 551 | 31 | | |

1) FL: Flansch / Flange
2) L: längs / longitudinal
3) P: prismatisch / prismatic
4) A5: $L_o = 5{,}65\sqrt{S_o}$

## Kerbschlagbiegeversuch / Impact test (C40–C49)

| Schmelzen-Nr. Heat No. (B07) | Erzeugnis Product (C00) | Ort Location (C01) 1) | Richt. Direct. (C02) 2) | Probenform Type of specimen (C49–C41) | Temperatur Temperature (C03) °C | Schlagarbeit Impact energy (C42–C43) 1 J | 2 | 3 | MW 3) J |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35313 | HEA280 | FL | L | KV450 | -020 | 96 | 95 | 80 | 90 |
| 36981 | HEA280 | FL | L | KV450 | -020 | 130 | 73 | 130 | 111 |
| 37800 | HEA280 | FL | L | KV450 | -020 | 73 | 98 | 105 | 92 |
| 37802 | HEA280 | FL | L | KV450 | -020 | 77 | 76 | 102 | 85 |
| 78073 | HEA120 | FL | L | KV450/7,5 | -020 | 134 | 135 | 122 | 130 |

1) FL: Flansch / Flange
2) L: längs / longitudinal
3) MW: Mittelwert / Average

Es wird bestätigt, daß die Lieferung den Anforderungen der Lieferbedingung entspricht.
We hereby certify that the delivered material complies with the terms of the order.
(Z01)

Herstellerzeichen / Trademark (A04)

Peiner Träger GmbH
Gerhard-Lucas-Meyer-Str. 10
D-31226 Peine
(A01)

CE

Abnahmebeauftragter / Inspection Representative (Z02)

Link

Diese durch ein geeignetes Datenverarbeitungssystem erstellte Bescheinigung ist gemäß EN 10 204, Abschnitt 5, ohne Unterschrift gültig.
This certificate was prepared by a suitable data processing system and is valid without signature according to EN 10 204, section 5.

A01
**ArcelorMittal Poland S.A.**
**Oddział w Dąbrowie Górniczej**
**al. J. Piłsudskiego 92**
**41-308 Dąbrowa Górnicza**

A02
# ŚWIADECTWO ODBIORU 3.1
# INSPECTION CERTIFICATE 3.1
# ABNAHMEPRÜFZEUGNIS 3.1

EN 10204 **Nr: 1002305366**

Z01.1
Dąbrowa Górnicza, 2018-06-14

ArcelorMittal

A06.1
Zamawiający: **AM COMMERCIAL SECTIONS SA**
Purchaser: **4221 ESCH-SUR-ALZETTE** **Luksemburg / Luxembourg / Luxemburg**
Besteller: **66 RUE DE LUXEMBOURG 66 RUE DE LUXEMBOURG**

A06.2
Adres wysyłkowy: **BE GROUP SVERIGE AB 400587**
Address: **211 24 MALMOE Szwecja / Sweden / Schweden**
Versandadresse: **KOKSGATAN 6-8 / MALMOE IND.HAMN**

| A07 | Nr zamówienia klienta / No of purchase order / No der Bestellung | Nr kontraktu / Contract No / Vertrag No | Nr zlecenia/Poz / Manuf. Order No/Pos / Auftrag No/Pos | Dowód dostawy / Delivery Note / Lieferschein Nr | Nr środka transportu / Number of transport / Transportmittel-Nr |
|---|---|---|---|---|---|
| | 200325-LO-KED | PL/277839653/23-10794773 | 10794773/000002 | 62925062 | KR9GJ49 / KR2P734 |
| | ORDER: 200325-LO-KED | LOT: MALMOE | | PREBON: 1100520771/2 | |

| B01 Norma przedmiotowa/According/Nach | Norma klasyfikacyjna/Classification standards/Materialnorm | Norma wymiarowa/Tolerance standards/Massnorm |
|---|---|---|
| DIN 1026-1:2009 | EN 10025-2:2004 | DIN EN 10279:2000 |

B02-B03 B09-B11
**Ceowniki ciężkie Ceownik zwykły U 120 długość: 10100,00 mm gat.stali: S235JR+ M**
**Heavy channels U 120 length: 10100,00 mm steel grade: S235JR+ M**

| B07 Wytop/Heat/Charge | Paczki/Sztuki - Bundles/Pieces - Bundel/Stuck | B13 Tonaż/Weight/Gewicht |
|---|---|---|
| 822316 | 1 / 36 | 4,872 t |
| Razem/Total/Gesamtbetrag | 1 / 36 | 4,872 t |

C71-C92 **Skład chemiczny - Chemical composition - Chemische Zusammensetzung [%]**

| B07 Wytop/Heat Charge | C | Mn | Si | P | S | Cu | Cr | Ni | Al | $N_2$ | Mo | Nb | V | Ti | Sn | Pb | As | B | O | $H_2$ | CEV |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 822316 | 0,16 | 0,79 | 0,220 | 0,017 | 0,014 | 0,04 | 0,02 | 0,014 | 0,003 | 0,0054 | 0,002 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,0005 | | | 0,30 |

**Właściwości mechaniczne - Mechanical properties - Mechanische Eigenschaften**

| B07 Wytop/Heat Charge | C11 Re [Mpa] | C11 R02 [Mpa] | C12 Rm [Mpa] | C13 A [mm] | C13 A [%] | D73 Re/Rm | D73 R02/Rm | C41 Szer.próbki Pr.width Probebreite KV [mm] | C44. Temp. $^0C$ | C42 - Praca łamania/Work of fracture/Schlagfestigkeit Pr.1/Test 1/Arb.1 | Pr.2/Test 2/Arb.2 | Pr.3/Test 3/Arb.3 | Średnia avarage test Mittelwert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 822316 | 298,0 | | 467,0 | | 31,5 | 0,64 | | | | | | | |
| 822316 | 303,0 | | 465,0 | | 32,4 | 0,65 | | | | | | | |

**Badany materiał nie wykazał radioaktywności. Pomiar został wykonany przy użyciu systemu GENIE 2000, produkcja Canberra-Packard.**
**The tested material did not show any signs of radioactivity. The measurement was performed with the application of GENIE 2000 system, manufactured by Canberra-Packard.**
**In dem untersuchten Material wurde keine Radioaktivität gefunden. Die Messung wurde mit dem GENIE-2000-System gemacht, Hersteller: Canberra-Packard.**

**Proces wytwarzania stali Steelmaking process Stahlherstellungsverfahren**
**Stal wytwarzana w procesie konwertorowym tlenowym Steel produced in BOF process Stahl hergestellt im Sauerstoffaufblasverfahren**

Z01 Stwierdzenie o zgodności: Producent deklaruje, że dostarczone wyroby są zgodne z warunkami zamówienia.
Statement of compliance: The producer guarantees that delivered goods are in accordance with the conditions of the order.
Konformitatserklarung: Der Hersteller dekliert dass die gelieferten Erzeugnisse den Bedingungen aus der Bestellung entsprechen.

A05, Z02.2
Główny Specjalista
ds. Certyfikacji Wyrobów i Dokumentacji
Kontrolnej wyroby długie
Zdzisław Kapiński

Deklaracja Właściwości Użytkowych Nr/Declaration of Performance No./ Leistungserklärung Nr.:
AMDG-2/01-CPR-13-1 Kod typu wyrobu/Code of the product type/ Kenncode des Produkttyps: 1.0038
Wyrób zgodny z Rozporządzeniem nr 305/2011 Parlamentu Europejskiego i Rady (UE).
The product conforms to Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council.
Das Produkt entspricht Verordnung (EU) Nr.305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates.

Z.04
CE
08
1436-CPR-0001
1436

Wystawił: Piotr Kielb ORYGINAŁ/ORIGINAL 14.06.2018 13:00:50 Strona 1 / 1

# Litteraturförteckning


1. BS 8001:2017. *Framework for implementing the principles of the circular economy in organiations.* BSI Group : u.n.

2. Daniel, R Cooper och Timothy, G Gutowski. The Environmental Impacts of Reuse - A Review. *Journal of Industrial Ecology.* 2015, Vol. 00.

3. *Energy Technology Perspectives 2008.* u.o. : International Energy Agency.

4. Allwood, Julian M och Cullen, Jonathan M. *Sustainable materials with both eyes open.* u.o. : UIT Cambridge, 2011.

5. *The reuse management model of building steel structures.* Fujita, Masanori och Iwata, Mamoru. Helsinki, Finland : Proceedings of EUROINFRA Conference, 2009.

6. Allwood, Julian M, o.a. *Conserving our metal energy.* u.o. : University of Cambridge, 2010.

7. *Successfull steel reuse in the UK - key aspects why it happened.* Drewniok, Michal P, o.a. Delft : International HISER Conference on Advances in Recycling and Management of Construction and Demolition Waste, 2017.

8. Dunant, Cyrille F, o.a. Options to make steel reuse profitable: An analysis of cost and risk distribution across the UK construction value chain. *Journal of Cleaner Production.* 2018, Vol. 183.

9. Ness, David, o.a. Smart steel: new paradigms for the reuse of steel enabled by digital tracking and modelling. *Journal of Cleaner Production.* 2014, Vol. 98.

10. Institute for Local Self Reliance (ILSR). *Creating Wealth from Everyday Items.* Washington, DC : u.n., 1998.

11. *BigREc Survey.* u.o. : Construction Resources and Waste Platform, 2007.

12. Cullen, Jonathan och Drewniok, Michal. Structural steel reuse. London : u.n., 2016. Vol. Steel and the circular economy.

13. Iacovidou, Eleni, Purnell, Phil och Lim, Ming K. The use of smart technologies in enabling construction components reuse: A viable method or a problem creating solution? *Journal of Environmental Management.* 2017.

14. Cooper, D. *Novel Joining Techniques to Promote Deconstruction of Buildings.* u.o. : University of Cambridge, 2010.

15. Moynihan, Muiris C och Allwood, Julian M. Viability and performance of demountable composite connectors. *Journal of Constructional Steel Research.* 2014.

16. Ataei, Abdolrea, Bradford, Mark A och Valipour, Hamid. Sustainable Design of Deconstructable Steel-Concrete Composite Structures. *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction.* 2016.

17. Hradil, Petr. *Barriers and opportunities of structural elements re-use.* u.o. : Technical Research Centre of Finland (VTT), 2014. VTT-R-01363-14.

18. PROGRESS 2017-2020. *PROvisions for Greater Reuse of Steel Structures.* [Online] [Citat: den 24 september 2018.] www.vtt.fi/sites/progress/case-studies.

19. *Återburk av plåt och stålkonstruktioner.* Bahr, Louise von. u.o. : Stålbyggnadsdagen, 2016.

20. Gorgolewski, Mark. *Resource salvation: the architecture of reuse.* Ryerson University, Toronto : John Wiley & Sons Ltd, 2018.

21. *Facilitating greater reuse and recycling of structural steel in construction and demolition process.* Gorgolewski, Mark. Toronto, Kanada : Ryerson University, 2006.

22. Pongigilione, Margherita och Calderini, Chiara. Material savings through structural steel reuse: A case study in Genoa. *Resources, Conservation and Recycling.* 2014, Vol. 86.

23. Densley Tingsley, Danielle, Cooper, Simone och Cullen, Jonathan. Understanding and overcoming the barriers to structural steel resuse, a UK perspective. *Journal of Cleaner Production.* 2017, Vol. 148.

24. Dunant, Cyrille F, o.a. Real and perceived barriers to steel reuse across the UK construction value chain. *Resources, Conservation & Recycling.* 2017, Vol. 126.

25. da Rocha, Cecilia Gravina och Sattler, Miguel Aloysio. A discussion on the reuse of building components in Brazil: An analysis of major social, economical and legal factors. *Resources, Conservation and Recycling.* 2009, Vol. 54.

26. Janing, Hans. *Äldre järn och stål - hållfasthet och tillåtna spänningar, Publikation 68.* u.o. : Stålbyggnadsinstitutet, 1980. ISBN 91-85644-09-9.

27. Metallnormcentralen. *MNC handbok nr 1/1974, Allmänna konstruktionsstål Tryckkärlstål Maskinstål.* u.o. : Sveriges Standardiseringskommission, 1974. ISBN 91 7162 013 3.

28. Stribeck, Per. *Stålbyggnad - Allmänt, Publikation 30:1.* u.o. : Stålbyggnadsinstitutet, 1975.

29. TDOK 2013:0267. *Bärighetsberäkning av broar.* u.o. : Trafikverket, 2017-02-20. Vol. Version 4.0.

30. Hamada, S, o.a. Re-Examination of Correlation between Hardness and Tensile Properties by Numerical Analysis. *Experimental Mechanics.* 2017, Vol. 57.

31. Yeung, Jamie, Walbridge, Scott och Haas, Carl. The role of geometric characterization in supporting strucutral steel reuse decisions. *Resources, Conservation and Recycling.* 2015, Vol. 104.

32. Tro och vetande om Blymönja. *En faktasammanställning 2011.* u.o. : Riksantikvarieämbetet.

33. Widenoja, Eva, Myhre, Kjetil och Kilvaer, Lasse. *Ombruk av konstruksjonsstål och tilhørende byggematerialer.* u.o. : Norsk Stålforbund, 2017.

34. Alpsten, Göran. *Variation in Mechanical and Cross-Section Properties of Steel. Publikation 42, Stålbyggnadsinstitutet, Stockholm (1973).*

35. Sedlacek, G, Spangemacher, R och Hensen, W. *Background Documen for the justification of a safety factor gm*=1.0 for beams in bending about the strong axis made of rolled section. Background Documen 5.01 for CHapter 5 of Eurocode 3, RWTH, Aachen.*

36. Nethercot, D.A. och Byfield, M.P. Selection of safety factors for use in steel construction. *Advances in Steel Structures, ICASS '96.* Vol. 1.

37. Sweden Green Building Council. *Miljöbyggnad.* [Online] https://www.sgbc.se/om-miljoebyggnad.